

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

«На правах рукопису»
УДК _____
кафедри

«До захисту допущено»
Завідувач

(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

Зі спеціальності: 131.Прикладна механіка

На тему: Дослідження ЛГПН з використанням сопел з рухомими каналами
Студент групи: МЛ-61м Хребтов Олег Дмитрович

Науковий керівник: проф. Коваленко Володимир Сергійович

*Відповідальність за плагіат усвідомлюю
ст. _____*

Київ – 2018

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	9
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАГ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ	9
1.1 Технології наплавлення	9
1.2 Переваги лазерного наплавлення	15
1.3 Дефекти при лазерному напавленні	16
1.4 Застосування лазерного наплавлення	16
1.5 Особливості лазерного наплавлення	17
РОЗДІЛ 2	20
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ	20
2.1 Метод лазерної наплавки при подачі порошку в зону обробки одночасно з впливом лазерного випромінювання.	20
2.2 Вплив параметрів режиму лазерної наплавки з примусовою подачею порошку на формування наплавлених шарів.	20
2.3 Способи подачі порошку в зону обробки.	22
2.4 Дослідження форми та розмірів частинок порошку на формування ванни розплаву.	24
2.5 Об'ємне формоутворення методом лазерного переплаву додаткового присадочного матеріалу.	25
2.6 Основні методи технології лазерного наплавлення	30
2.7 Реалізація технологій лазерного наплавлення	32
2.8 Технологічні фактори, що впливають на процес лазерного наплавлення.	30
РОЗДІЛ 3	31
МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОТОКУ ГАЗО-ПОРОШКОВОЇ СУМІШІ НА ВИХОДІ З СОПЕЛ ДЛЯ ПОДАЧІ ПОРОШКУ	31
3.1 Дослідження характеристик газодинамічних розрахунків в ANSYS.....	36
3.2 Алгоритм газодинамічного розрахунку в ANSYS	37
3.3 Розрахункова частина газодинамічних розрахунків	??
РОЗДІЛ 4	52

СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	52
4.1 Опис ідеї послуги	Error! Bookmark not defined.
4.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Технологічний аудит ідеї проекту.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	Error! Bookmark not defined.
4.5 Фактори, що сприяють ринковому впровадженню	Error! Bookmark not defined.
4.6 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	Error! Bookmark not defined.
4.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- v_e - швидкість газу на виході із сопла (м / с);
- T - абсолютна температура газу на вході в сопло;
- R - універсальна газова стала;
- M - молярна маса газу (кг / моль);
- k - показник адіабати;
- c_p - питома теплоємність при постійному тиску (Дж / (моль · К));
- c_v - питома теплоємність при постійному обсязі (Дж / (моль · К));
- p_e - абсолютний тиск газу на виході з сопла (Па);
- p_a - абсолютний тиск газу на вході в сопло (Па);
- ρ - локальна густина газу (кг/м³);
- p - локальний тиск газу (Па);
- M - число Маха;
- C - локальна швидкість звуку
- v - локальна швидкість потоку (м / с);
- A - площа місцевого перетину сопла (м²);
- G_k - джерело за рахунок градієнта середньої швидкості;
- G_b - джерело за рахунок архімедових сил;
- S_k, S_ϵ - призначені для користувача джерела.

Вступ

Від якості та матеріалу з якого зроблена деталь та устаткування машин залежить довговічність та термін експлуатації виробу. Тому одне з найважливіших завдань машинобудування є поліпшення ресурсу, яким володіють інструменти та деталі машин, які працюють в умовах підвищених навантажень, температур, умовах значного тертя та контактних і динамічних навантажень. Задача полягає у розробці високоефективних технологій їх виготовлення та отримання на цих поверхнях бажаних фізико-механічних властивостей та, якщо це потрібно, можливість відновити пошкоджену деталь чи її частину за допомогою лазерного наплавлення.

Можливість наплавляти твердосплавні покриття за допомогою лазера збільшує ресурс будь-якої деталі чи механізму. Данна технологія добре відома та широко застосовується у різних галузях машинобудування, та доволі часто використовується для відновлення пошкоджених чи зношених механізмів або деталей. За допомогою лазерного наплавлення поверхневі шари та робочі поверхні можна модифікувати та присвоїти їм додаткові функціональні властивості, за допомогою яких високонавантажені деталі будуть мати значно більший експлуатаційний термін. Не дивно, що такі способи лазерної модифікації поверхонь дуже стрімко розвиваються та прогресують на ряду з появою нових джерел лазерної енергії. Отже, у сучасному машино будівництві підвищення якості та строку експлуатації деталей та вузлів і можливість їх відновлення стала однією з найважливіших задач.

Процес який буду розглядатися у даній роботі базується на створенні за допомогою лазерного випромінювання на поверхні деталі ванну, в яку, за допомогою плоских каналів буде подаватися газопорошкова суміш. Матеріал деталі буде піддаватися розплавленню, проте управління цим процесом

знаходиться на досить високому автоматизованому рівні який забезпечує повне регулювання розмірів та зон наплавлення та термічних циклів за для збереження геометричних характеристик оброблюваної деталі.

За допомогою лазерного наплавлення відбувається нанесення металевого порошку, це дає змогу отримати покриття з бажаними характеристиками або відновити пошкоджені поверхні механізму у важко доступних місцях зі складною геометричною будовою.

Для того щоб розплавити метал та мати змогу його наплавити, потрібен лазер досить високої потужності. Тобто на поверхню можна наплавити практично будь-який метал, який буде володіти такими ж характеристиками як і основний але доречніше буду наносити сплав який буде більш пристосований до експлуатаційних умов. Це дуже доречно, оскільки не потрібно витрачати кошти на придбання нової деталі та можна підібрати порошок за найбільш оптимальними фізико-хімічними характеристиками тим самим підвищити термін придатності деталі або вузла.

Підвищення надійності та ресурсу роботи деталей машин за рахунок формування за допомогою лазерного наплавлення та багатоканальних щілинних сопел високоякісних поверхневих шарів, які мають прогнозовані фізико-механічні властивості.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають при лазерному наплавленні, виявити основні фактори і параметри процесу, їхні причинно-наслідкові зв'язки.
2. Проаналізувати і визначити шляхи підвищення якості зносостійких поверхневих шарів, одержаних лазерним наплавленням.

- 3.Теоретично дослідити процес лазерного наплавлення, встановити його основні закономірності.
- 4.Проаналізувати існуючі і розробити новий науково-обґрунтований підхід до вибору порошкових матеріалів для лазерного наплавлення, розробити методологію вибору їх оптимального складу.
- 5.Розробити експериментальний стенд для наплавлення лазерним випромінюванням з різним розподілом потужності у плямі фокусування, методики експериментального дослідження процесу формування зносостійких поверхонь.
- 6.Дослідити вплив технологічних параметрів процесу на якісні характеристики поверхневих шарів, отриманих лазерним наплавленням .
- 7.Розробити рекомендації з застосування отриманих результатів у промисловості, удосконалення лазерного технологічного устаткування.

Об'єкт і методи дослідження

На основі теоретичної моделі та експериментів вивчались умови формування наплавлених покриттів під дією лазерного випромінювання з одночасним додаванням газо-порошкової суміші щілинними соплами з рухомими каналами, вплив їх структурно-фазового складу на антифрикційні та зносостійкі властивості робочих поверхонь деталей. Об'єктом досліджень у даній роботі є процеси, що відбуваються при лазерному газо-порошковому наплавленні за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами. Предметом досліджень є визначення оптимальних технологічних режимів та параметрів нанесення покриттів з мілкодисперсною структурою за допомогою лазерного газо-порошкового наплавлення щілинними соплами з рухомими каналами.

Для розв'язання поставлених завдань і отримання основних результатів роботи використовувались такі сучасні методи дослідження, як: математичне моделювання, а також аналітичні і числові методи аналізу фізичних явищ, які супроводжують процеси наплавлення і модифікування металевих поверхонь, що розглядаються.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному

1. Розроблено двовимірну математичну модель та програму розрахунків теплових процесів при лазерному наплавленні порошкових матеріалів за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами, що враховує нелінійну залежність теплофізичних коефіцієнтів від температури, наявність фазових переходів та складну структуру наплавочного покриття;
2. Отримані комплексні дані впливу лазерного випромінювання на порошковий матеріал та впливу режимів обробки на якість покриттів з точки зору їх морфологічних особливостей, густини розподілу включень, параметрів зміцнення основи та інше;

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному

- Розроблено технологію лазерного наплавлення порошкових матеріалів за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами та отримання високоякісних покриттів;
- Отримані критичні та оптимальні параметри лазерного нагріву;
- досліджено триботехнічні властивості зазначених матеріалів у вигляді покриттів залежно від їх складу та режимів навантажень;
- Визначені оптимальні склади композиційних покриттів для різних умов тертя, та досягнуто підвищення зносостійкості пари тертя в цілому у 1,5-2 рази;

Предмет дослідження

Теплові та фізико-металургійні процеси, що відбуваються при взаємодії лазерного випромінювання та газо-порошкової суміші яка подається за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами.

Наукове значення роботи

До існуючих знань була доповнена інформація яка стосується формування композиційних матеріалів під дією лазерного випромінювання за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами:

- Фізико-математична модель процесу лазерного наплавлення порошкових матеріалів з врахуванням залежності теплофізичних характеристик матеріалів від температури, наявності фазових переходів, та складної структури композиційних покриттів;
- Вплив температурних та часових факторів на структуру покриттів та морфологію розподілу включень в них, а також зв'язок структурних параметрів покриттів з їх фізико-механічними властивостями;
- технологічні основи процесу лазерного наплавлення порошкового матеріалу за допомогою щілинних сопел з рухомими каналами.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАГ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

1.1 Технології наплавлення

Видів наплавлення існує досить багато, розглянемо деякі з них, щоб мати певне уявлення:

Дугове - наплавлення є досить універсальним та простим методом, до переваг можна віднести простоту та універсальність, можливість виконувати роботу у складних та важкодоступних місцях. До недоліків можна віднести досить низьку якість напавленої поверхні, загазованість місця виробництва та низьку продуктивність. Спосіб полягає у розплавленні металу та змішуванні його з електродом, у зв'язку з цим склад виходить неоднорідним. Тому однією з головних задач цього методу є правильний підбір електроду, для того щоб напавлений шар мав необхідні параметри.

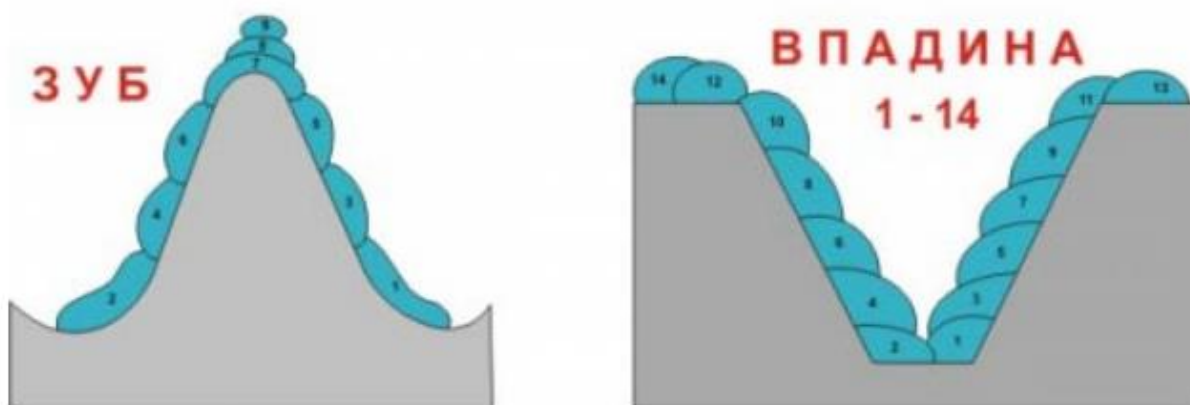


Рисунок 1.1 – схема наплавлення шестерні, порядок накладання валів. [1]

Плазмове – вид наплавлення який втілюється за допомогою плазмової дуги а присадним матеріалом виступають суцільні або порошкові дроти.

Особливістю цього методу є можливість у широкому спектрі регулювання співвідношення між подачею наплавляемого матеріалу до теплової потужності дуги, це дає змогу забезпечити високу продуктивність при мізерному проплавленні основного шару металу. Особливістю цього методу є те, що він забезпечує потрібну твердість та заданий хімічний склад металу на відстані 0,2...0,5 мм від поверхні, це дає можливість наплавляти всього один шар, замість 3-4 як, наприклад, електродуговим способом. Плазмою у цьому варіанті виступає високо іонізований газ. Найкращі показники розплаву досягаються за допомогою газу аргону чи гелію. До переваг методу можна віднести: мала ширина термічної зони впливу, висококонцентрована теплова потужність, можливість плазмового гартування, високий ККД, відносно мале перемішування порошку наплаву з основою. Використовується для наплавлення клапанів та деталей, які піддаються високим температурним навантаженням.

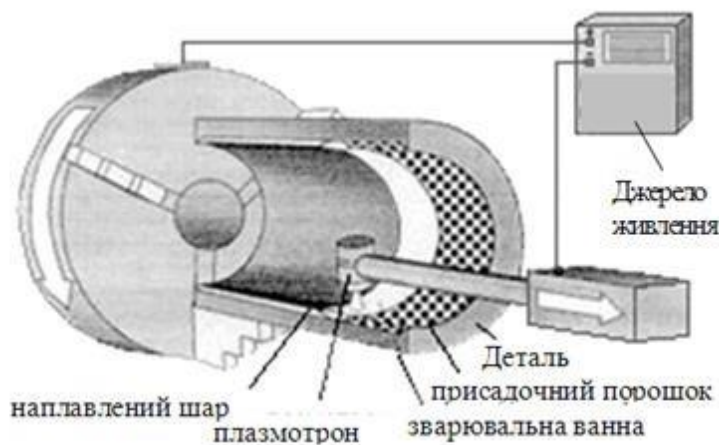


Рисунок 1.2 - схема методу плазмового наплавлення [2]

Газове – здійснюється за допомогою газу горючого полум'я (пропан-бутан або суміш кисню з ацетиленом). До плюсів відноситься те, що можна регулювати температуру вогню таким чином забезпечувати потрібну

товщину покриття. Поганим є те, що витрачається багато енергії яка іде на прогрівання обробувальної деталі це, в свою чергу, може призвести до небажаної деформації. Тобто цей спосіб використовують коли не потрібна висока точність заготовки.

Електронно-променеве - технологія базується на здатності лазерного променя фокусувати свою енергію. Основними параметрами які характеризують процес електронно-променевої наплавки є струм, енергія та геометричні характеристики променю – розміри, форма та діаметр, швидкість переміщення деталі та швидкість з якою подається наплавляє мий порошок. До особливостей цього методу можна віднести те, що він реалізується за допомогою вакууму, тобто виключається окислення та вигорання матеріалу, є досить дорогим та володіє малим ККД.

Обладнання для електронно-променевої наплавки включає в себе вакуумну камеру, електронну гармату та маніпулятор. На такому обладнанні виконується нанесення покриттів на вироби, які використовуються у металургії.



Рисунок 1.3 - Зовнішній вигляд установки електронно-променевої наплавлення [3].

Наплавлення під флюсом - це один з видів електродугового зварювання, у якому дуга горить під шаром зварюваного флюсу, це забезпечує захист зварюваної ванни від повітря. Із захисними функціями флюс стабілізує горіння дуги, це забезпечує розкислення, легування і рафінування розплавленого сплаву зварювальної ванни. Відновлювана деталь переміщується при процесі наплавлення з установленою швидкістю. Зварювальний дріт автоматично подається до зони зварювання. Дуга горить між кінцем електрода і поверхнею виробу яку потрібно відновити під шаром флюсу, який безперервно подається з бункеру. У зоні горіння утворюється порожнина, яка заповнена парами металу, флюсу та різними газами. Розплавлений флюс внаслідок значно меншої густини впливає на поверхню розплавленого металу шва і покриває його щільним шаром. Оболонка з розплавленого флюсу огороджує метал наплавки і пришовної зони від кисню і азоту повітря, і крім того, перешкоджає розбризкуванню рідкого металу. Завдяки тому що розплавлений флюс характеризується низькою теплопровідністю, уповільнюється процес охолодження металу. Це полегшує спливання на поверхню ванни шлакових включень і розчинених в металі газів, що різко підвищує якість наплавленого шару сплаву.

До переваг цього методу можна віднести те що цей процес не є складним та не потребує високої кваліфікації. Забезпечує захист від бризок. Через відсутність навколишніх факторів отримується майже рівна та гладка поверхня. Проте цей спосіб має досить суттєві недоліки, тому не так широко використовується, як, наприклад, лазерне наплавлення. Вносить великі процентні зміни у молекулярний склад металу. Застосовується лише у великогабаритних деталях, через неможливість наплавлення в тяжко доступних місцях та в умовах складної конфігурації деталі. Достатньо велика вартість додаткового пристосування для подачі флюсу.

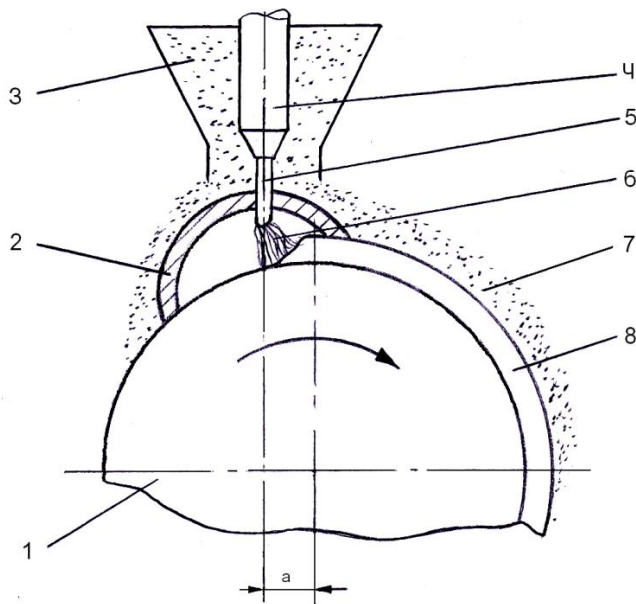


Рисунок 1.4 - наплавлення під шаром флюсу (1- деталь, 2- оболонка рідкого флюсу, 3 – бункер з флюсом, 4 – мундштук, 5 – електрод, 6 – електрична дуга, 7 – шлакова кірка, 8 – наплавлений метал, а – зсув) [4]

Вібродуговий спосіб - наплавлення зазвичай використовується для наплавлення деталей типу тіл обертання діаметром від 8 - 10 мм і більше. Сутність цього процесу наплавлення полягає в тому, що основний і електродний метал нагрівається до розплавлення теплом, яке виділяється в результаті виникнення періодично повторюваних електричних розрядів, тобто переривчасто палаючої електричної дуги. Наплавлений шар утворюється в процесі кристалізації розплавленого основного і електродного металу. Мала тривалість і уривчастість горіння електричної дуги обумовлені вібраціями електродного дроту, які створюються за допомогою електромагнітних або механічних вібраторів. В процесі вібрацій спостерігаються короткі замикання внаслідок доторкання електродного дроту до виробу на якому відбувається наплавка, а під час відриву дроту виникає великої сили струм і спалахує електрична дуга. В якості присадочного матеріалу використовують наплавочні дроти, які можуть мати

зворотно-поступальні переміщення поперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді і труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Тривалість горіння дуги складає 0,002 - 0,003 с. Наплавочна установка складається з вібродугової головки, апаратури управління, пристрою обертання, джерела струму. Під час наплавлення виконуються наступні рухи: обертання деталі на яку наплавляється матеріал, поступальний рух вібродугової головки уздовж поздовжньої осі цієї ж деталі, подача дроту в зону дуги і вібрація дроту. Живлення здійснюється від випрямлячів, зварювальних генераторів, а також від низьковольтних трансформаторів з вторинною напругою 12 - 16 В і більше. Більш високі показники досягаються при напавленні на постійному струмі зворотної полярності. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться в захисних газах, а також під шаром флюсу. Також застосовуються водні розчини кальцинованої соди, суміші кальцинованої соди, мила і гліцерину, емульсії гліцерину.

Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону термічного впливу малої ширини, тому напавлені деталі мають дуже малі деформації, що особливо важливо при напавленні складних виробів, виготовлених з високою точністю. Вібродугове напавлення ефективне, якщо необхідно напавляти шари металу невеликої товщини.

Недоліками вібродугового напавлення є порівняно низький коефіцієнт напавлення і невисока продуктивність напавлення.

Лазерне напавлення – полягає у місцевій подачі порошку і короткочасному розплавленні основного матеріалу. За допомогою високого рівня автоматизації забезпечується регулювання розмірів розплавлених зон та термічного процесу. Досить ефективний спосіб напавлення, що дозволяє робити тонкий і досить-таки міцний шар на оброблюваній поверхні. Проте він досить дорогий: потрібне особливе недешеве обладнання і навчені

фахівці. Це метод нанесення матеріалу за допомогою лазерного променя, що використовується для створення ванни розплаву, куди подається матеріал. В якості присадки можуть використовуватися як порошки, так і дріт. Цей спосіб є досить ефективним, проте потрібно дороге обладнання та кваліфіковані фахівці. Особливостями цього методу є те, що на поверхню металу можна наносити шар з практично будь-якого матеріалу або суміші матеріалів які будуть володіти потрібними фізико-механічними властивостями за для подальшої оптимальної роботи інструмента, деталі або вузла. Така технологія дозволяє отримувати покриття з дуже високою якістю поверхні, при цьому час простою є мінімальним. Досить часто складні деталі, які працюють в умовах підвищеного навантаження піддаються зносу або пошкодженням, і доцільним є їх ремонт, а не заміна на нову деталь, це пов'язане з великими витратами. Тому саме відновлення та присвоєння таким деталям оптимальних властивостей є однією із головних задач машинобудування.

1.2 Переваги лазерного наплавлення

Лазерне наплавлення має ряд переваг у порівнянні з іншими видами наплавлення, а саме: мінімальний час підготовки на ремонт пошкодженої деталі, малий вплив температури на метал основи, відновлення виробів зі складною конфігурацією та малими просторовими параметрами, можливість контролювати товщину проплавлення, створення тонких наплавлених шарів (до 0,3 мм); високоміцне зчеплення наплавленого матеріалу з металом основи, деформація оброблювальних деталей практично відсутня, швидкісне нагрівання та охолодження шару наплаву, також можлива обробка великогабаритних виробів, та мінімальне змішування наплавленого та основного металу.

Проте, як і у інших способах наплавлення, існують і недоліки, а саме: наявність поперечних холодних мікротріщин в шарах які наплаваються, вони виникають у наслідок релаксації високих внутрішніх напружень

розтягу. Цей процес потребує високовартісне обладнання та високу собівартість процесу, складне програмне забезпечення, має низький ККД та малу продуктивність і має місце у наплавленні дорогих деталей зі складною геометричною конфігурацією.

1.3 Дефекти при лазерному наплавленні

При лазерному наплавленні в наплавленному шарі можуть виникати такі дефекти: кристалізаційні тріщини, відшарування, заниження по висоті, вириви, спучування і тріщини після механічної обробки.

Одна з причин, що стримує впровадження процесу лазерного наплавлення, полягає в утворенні тріщин в наплавлених шарах. Цей вид дефектів є одним з найпоширеніших. В результаті утворення тріщин в покриттях втомна міцність деталей знижується більш ніж в 10-20 разів, що може стати причиною передчасного руйнування та виходу виробу з ладу.

При безперервному режимі лазерного наплавлення в шарах утворюються поперечні тріщини, які знаходяться один від одного на відстані 0,8 мм і більше по довжині наплавлення.

В шарі поряд з поперечними тріщинами утворюються і поздовжні тріщини.

1.4 Застосування лазерного наплавлення

Нове і основне застосування лазерного наплавлення матеріалів – це технології аддитивного виробництва і швидкого виготовлення інструментів для прискореного виготовлення складних деталей і інструменту. Технології адитивного виробництва є відносно новими і дозволяють виготовляти вироби безпосередньо за даними CAD-програм, без використання будь або традиційних інструментів. Складні авіаційні деталі, які не можна виготовити традиційним способом, можуть виготовлятися з дуже коротким циклом виробництва. Також технології дозволяють не тільки скоротити час

виробництва, але і зробити деталь з необхідною макро і мікроструктурою. Це важливо як при виробництві самих авіаційних деталей, так і при виготовленні оснащення для авіаційного виробництва. [Технологічні процеси лазерної обробки А.Г. Григорьянц, І.Н. Шиганов, А.І. Місюров]

1.5 Особливості лазерного наплавлення

Лазерне наплавлення полягає в нанесенні на поверхню оброблюваної деталі покриття шляхом розплаву основи і газопорошкової суміші. Оскільки, основа підправляється мінімально, властивості покриття головним чином залежить від властивостей газопорошкової суміші.

В даний час розроблені і широко використовуються в промисловості різні способи наплавлення матеріалу: електродугова, плазмова, лазерна, газова, електроконтактна і т.д.

До процесу наплавлення пред'являють такі вимоги:

1. Забезпечення міцного і надійного зчеплення основного і додаткового матеріалу.
2. Виключення утворення пор і тріщин.
3. Зниження залишкових напружень і деформацій.
4. Зменшення змішування метала основи з матеріалом наплавки.
5. Забезпечення проведення наплавлення з мінімальною глибиною проплавлення основи.
6. Збільшення коефіцієнта використання матеріала наплавки.
7. Зниження ціни процесу.
8. Підвищення продуктивності і комфортності труда.

Основними недоліками традиційних способів наплавлення є:

1. Погіршення властивостей наплавленого матеріала із-за перемішування з основним;
2. Деформація виробу, завдяки високим погонним енергіям;
3. Утворення тріщин в слої який наплавляється;

4. Обмеження по поєднанню складів основного і наплавляемого матеріалів;

5. Труднощі при здійсненні наплавлення малих поверхонь і деталей складної форми.

Порівняно з традиційними способами лазерне наплавлення має ряд переваг. Висока концентрація енергії в плямі нагріву створює можливість проведення процесу при підвищених швидкостях обробки. Це в свою чергу обумовлює:

- Формування наплавленого слоя з малим коефіцієнтом перемішування (0,05...0,15) в результаті незначного підплавлення основи;
- Мінімальна термічна дія на основний метал, що особливо важливо для матеріалів, які зазнають структурні і фазові перетворення;
- Малі залишкові деформації наплавлених деталей;
- Можливість наплавлення малих поверхонь порівнянних з діаметром плями нагріву у випадку застосування імпульсних і імпульсно-періодичних лазерів;
- Підвищення властивостей наплавлених слоїв.

Лазерний промінь має переваги перед іншими джерелами нагріву:

- Дозуюча енергія;
- Можливість локальної обробки поверхні;
- Відсутність термічних поводок, мінімізація зони термічного впливу (ЗТВ);
- Можливість обробки деталей великих габаритів завдяки високій продуктивності наплавлення;
- Швидке нагрівання та охолодження наплавляється;
- Утворена ультрадисперсної структури покриття ефективно протистоїть процесам корозії і ерозії;
- Можливість обробки на потрібну глибину;
- Мінімальне перемішування основного та наплавляється.

Лазерна наплавлення застосовується в разі, якщо ЗТВ повинна бути мінімальною. Крім того, лазерне наплавлення може використовуватися для обробки особливо схильних до зносу деталей з великими габаритами. У деяких випадках проводиться обробка складних або локальних поверхонь.

Лазерна наплавлення може використовуватися в разі, якщо твердість наплавляемого шару повинна знаходитися в межах 70 HRC. Таким чином обробляються стабілізатори буріння нафтових свердловин.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

2.1 Метод лазерного наплавлення при подачі порошку в зону обробки одночасно з впливом лазерного випромінювання.

Найбільш ефективним є застосування примусової подачі порошку безпосередньо в розплавлену ванну матеріалу основи. Формування покриття в цьому випадку відрізняється від такого при переплаву попередньо нанесеного шлікерного шару. Основна відмінність полягає в тому, що нагрівання частинки починається при попаданні її в промінь і закінчується на підкладці. Оціночні розрахунки показують, що час, необхідний для нагрівання частинки до температури плавлення, менше часу її знаходження в промені. Таким чином, залишилися частинки після проведення процесу наплавлення можуть бути використані повторно.

2.2 Вплив параметрів режиму лазерного наплавлення з примусовою подачею порошку на формування наплавлених шарів.

Параметрами режиму, що впливають на формування наплавлених шарів при лазерному наплавленні з примусовою подачею газо-порошкової суміші, є:

1. Потужність лазерного випромінювання;
2. Швидкість наплавлення;
3. Величина розфокусування;
4. Масова витрата порошку;
5. Відстань, з якого вводять порошок;
6. Кут введення порошку;
7. Напрямок подачі порошку слідом або назустріч по відношенню до напрямку руху виробу;
8. Відстань від центру лазерного променя до центру введення порошку.

Розглянемо їх більш детально.

Підвищення потужності випромінювання при постійних значеннях інших параметрів призводить до збільшення ширини і висоти шару. При цьому також спостерігається тенденція до зростання коефіцієнта змішування.

Зі збільшенням швидкості обробки час опромінення одиниці поверхні і питома погонна енергія зменшуються. Крім того зменшуються відносна витрата порошку, ширина і висота шарів. В цьому випадку також є тенденція до підвищення коефіцієнта перемішування.

В процесі зростання величини роз фокусування - густина потужності випромінювання знижується, внаслідок чого кількість використовуваного порошку зменшується. При цьому висота шару зменшується, а ширина спочатку зростає, а потім знову зменшується. Коефіцієнт перемішування знижується.

При підвищенні масової витрати порошку ширина і висота шару безперервно збільшуються, а коефіцієнт перемішування зменшується. Це обумовлено зростанням щільності потоку частинок і зниженням прямого впливу лазерного променя безпосередньо на основний матеріал.

Зі збільшенням відстані від зрізу сопла до зони обробки (дистанція нанесення) площа порошкової плями збільшується, в той же час щільність потоку частинок знижується. В результаті цього ширина шару збільшується, а їх висота зменшується. Коефіцієнт перемішування при цьому значно зростає.

Вплив кута введення порошку на розміри наплавленого валика визначається впливом порошкового струменя і кількістю потрапляючого в ванну порошку. При зміні кута подачі до 30 ... 45 ° основне значення має вплив струменя. З підвищенням її динамічного тиску на рідку ванну висота шару збільшується. У разі подальшого зростання кута введення починає давати про себе знати зменшення кількості порошку, що надходить в ванну, висота шару при цьому зменшується. Ширина шару при збільшенні кута також трохи зменшується, а коефіцієнт перемішування помітно зростає.

При лазерному наплавленні порошок може подаватися слідом і назустріч руху виробу. У разі подачі порошку слідом досягається задовільний наплавлений шар. В даному випадку під дією тиску порошкового струменя рідкий метал притискається до закристалізованої частини наплавки. Процес формування стає стабільним. Коливання геометричних розмірів шару по довжині наплавленого шару незначні.

При подачі порошку назустріч руху зразка формування валиків відбувається інакше. Порошковий струмінь діє на розплавлений метал в напрямку, протилежному напрямку руху формування шару, в результаті чого рідкий метал розтікається по поверхні основи. Збільшення площі рідкого металу призводить до зростання числа частинок порошку, що потрапляють в розплав. При цьому розміри шару в порівнянні з відповідним значенням при подачі порошку слідом за рухом основи збільшуються, разом з тим нерівномірність їх розмірів також підвищується. При використанні даного способу спостерігається мінімальне підплавлення основи, так як наявність рідкого прошарку ускладнює вплив лазерного проміння на основний метал. У зв'язку з цим коефіцієнт перемішування зменшується в порівнянні зі значенням цього параметра в першому способі подачі порошку і практично наближається до нуля.

У всіх випадках, коли центр потоку порошку поєднується з центром лазерного проміння, через попадання частинок на ще не закристалізований, але вже вийшовший із під проміння наплавляємий метал, поверхня шару стає шорсткою. Зменшити шорсткість можна повторним опроміненням шару без подачі порошку.

2.3 Способи подачі порошку в зону обробки.

Є два способи подачі порошкового присадочного матеріалу:

- Газовим потоком;
- Під дією гравітаційних сил.

Найбільш ефективним і розвиваємим в даний час є процес безпосереднього транспортування порошкового матеріалу в зону наплавлення за допомогою газового потоку. Використання інертних газів одночасно з подачею порошку дозволяє забезпечити захист розплавленої ванни від окислення. Для подачі порошку застосовують спеціальні пристрої - дозатори. Наплавочні порошки завантажують в ємність, транспортуючий газ подають у спеціальний пристрій, який називається інжектором, в якому перетин прохідного каналу зменшується по довжині. При проходженні газу через інжектор його швидкість змінюється, так як його витрата залишається постійною. Ця газопорошкова суміш подається в область дії лазерного променя.

Недоліками цього способу є;

- 1) Малий коефіцієнт використання порошку;
- 2) Динамічний вплив газового струменя на рідку ванну;
- 3) Нестійкість подачі порошку при його малих витратах;
- 4) Необхідність підігріву газової суміші, а також видалення з неї вологи.

Використання подачі порошкового присадочного матеріалу під дією гравітаційних сил є найпростішим з відомих способів. Однак в разі застосування дуже дрібного порошку (діаметр - менше 0,04 мм) під дією молекулярних сил можливе утворення конгломератів з декількох частинок, що може порушити рівномірність подачі. Щоб уникнути цього використовують спеціальні пристрої, наприклад механічні, електромагнітні або пневматичні вібратори і т. д. Це дозволяє забезпечити високу стабільність подачі порошку при його малих витратах.

2.4 Дослідження форми та розмірів частинок порошку на формування ванни розплаву.

Від способу подачі порошку під лазерне випромінювання залежить його час перебування, та, як наслідок, формування ванни розплаву і

властивості металу після кристалізації. Окрім того, в залежності від конструкції технологічної насадки можна змінювати швидкість частиць порошку у досить великому діапазоні. При цьому також змінюється температура. Наприклад, якщо швидкість потоку мала при великій довжині соплової насадки, порошок може перегрітися під впливом проміння, це призведе до того, що частина легкоплавких легуючих елементів може вигоріти ще до утворення ванни розплаву. Деякі елементи, наприклад карбіди вольфраму чи кремнію, можуть поглинати випромінювання деякої довжини хвилі практично повністю, це призводить до повного згоряння ще до потрапляння у ванну. Тому, порошок потрібно подавати під найбільш тупим кутом до проміння, для того, щоб час перебування у ньому був мінімальним. Був розглянутий ряд порошкових матеріалів(вони будуть відрізнятися формою, складом та розміром частиць), які використовують для композитних покриттів.

Таблиця 1 – характеристика порошків

Марка	Розмір частинок	Густина матеріалу, г/см ³	Форма частинок
Al12Si	-80 +50	2,5	Овальні, з сателітами
SiC	-100 +83	3,2	Колоті

Порошковий матеріал Al12Si – алюмінієвий сплав, використовується для ремонту деталей з алюмінієвих сплавів, а також для отримання композитних матеріалів типу Al12Si – SiC, він володіє високою зносостійкістю при низькій масі. Порошок має частинки сферичної форми з невеликою кількістю частинок сферичної форми та наявності невеликої долі сателітів та включень неправильної форми.

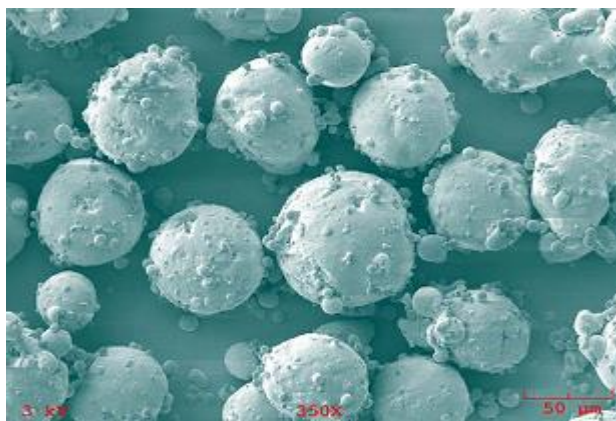


Рис 2.1. Частинки порошку $Al_{12}Si$, збільшення у 100 крат

Порошковий матеріал SiC – хімічно чистий карбід кремнію, отримують дробленням кристалів та подальшим розсівом по фракціям. До особливостей можна віднести високу температуру плавлення, високу твердість та високу хімічну стійкість при температурах вище 1500 градусів Цельсія. Зовнішній вигляд порошкових частинок показаний на рисунку. Розмір фракції карбіда від – от 83 до 100 мкм. Переважно, частинки мають колоту форму.

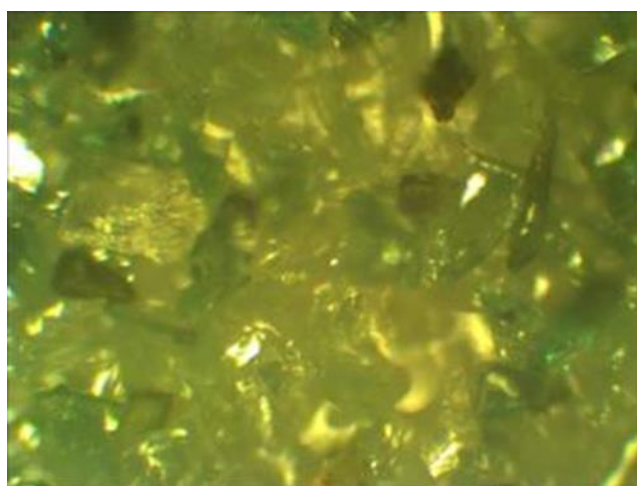


Рис 2.2 Частинки порошку SiC , збільшення у 100 крат.

2.5 Об'ємне формоутворення методом лазерного переплаву додаткового присадочного матеріалу.

В даний час широке увагу стали приділяти одній з нових технологій, використовуваної для зниження вартості та скорочення термінів

виготовлення нових виробів - об'ємному формоутворення шляхом лазерного переплаву додаткового присадочного матеріалу. Цей процес є конкурентом не тільки процесів швидкого прототипування, які він нагадує за принципом роботи (матеріал обробляється за допомогою керованого комп'ютером лазера), але і традиційної механо і електроерозійної обробки.

Цей процес розроблений на основі лазерного наплавлення з подачею присадочного порошку в зону впливу лазерного променя. Його використання дає можливість отримувати просторові фігури шляхом послідовного нанесення шарів по складним криволінійним траєкторіям при мінімальному термічному впливі на основний метал. Побудова об'єкта здійснюється пошарово, що дозволяє виробляти виготовлення деталей з різних матеріалів, наприклад алюмінієві корпусу дроселів, форми для інжекційного лиття, лопатки турбін

і т. д. За допомогою цього методу можна виготовляти як нові деталі, так і формувати на поверхні виробу об'ємні елементи, наприклад при ремонті. Широкий вибір присадок дозволяє отримувати деталі, що мають високі механічні і службові властивості. Цей процес вкрай привабливий для ремонту найважливіших деталей в авіабудуванні.

Як і в лазерному наплавленні, відомо два основних способи формування виробу методом об'ємного лазерного формоутворення:

- Попереднє розташування припадочних матеріалів на оброблювану поверхню;
- Подача порошку в зону обробки одночасно з дією лазерного випромінювання.

В першому випадку порошок розподіляють тонким шаром на поверхню об'єкта який виготовляється. Промінь лазера фокусують на робочій поверхні і сканують поверхню шару, при цьому утворюється поперечний розріз виробу. Після отримання рисунку шару який складається із закристалізованого порошку, наверх його насипають слідуючий шар і т. д.

Іншим варіантом є безпосереднє впорскуванням присадочного матеріалу, з якого формується виготовляємий виріб, в зону дії лазерного променя. Відмінність процесу полягає в одночасному нанесенні і оплавленні порошку, що здійснюється пошарово по заданому для кожного шару контуру.

Технологія призначена для автоматизованого виробництва тривимірних об'єктів шляхом лазерного плавлення металевого порошку. Результатом лазерного об'ємного формоутворення є деталь. Цю технологію рекомендують для виробів і деталей машин, коли через конструктивні зміни потрібне додавання істотного обсягу металу. За допомогою даного процесу можна вирішувати такі завдання.

1. Зміцнення найважливіших елементів оснащення.
2. Виготовлення металевих прототипів за даними 3D CAD.
3. Ремонт зношених або пошкоджених формотворчих поверхонь.
4. Вирощування металевих елементів складної конфігурації при виготовленні або ремонті оснастки.
5. Виготовлення гібридної біметалічної оснастки.

Оскільки нерозплавлений металевий порошок використовують повторно, процес можна вважати безвідходним.

2.6 Основні методи технології лазерного наплавлення

До основних способів нанесення покриття за допомогою лазера належать:

-Опалювання порошків які перебувають у вигляді пасти, яку попер застосуванням наносять на поверхню деталі. Вміст суміші підбирають таким чином, щоб воно практично не мало впливу на склад покриття яке потрібно створити. Паста піддається оплавці лазером, який послідовно проходить променем всю поверхню. Для того щоб отримати багатошарове покриття порошок наносять ще раз після чергового циклу обробки деталі. До переваг цього способу належить простота технології та устаткування, яке потрібно

для наплавлення. До головних недоліків можна віднести високу трудомісткість і нерівномірність покриття, це обумовлено тим, що поверхневий натяг розплавленого металу не є рівномірним.

-Покриття створюють за допомогою подачі газопорошкового складу збоку від сопла лазера. Ця технологія лазерного наплавлення якісно покращує процес отримання плакуючого шару. Коли у рідку ванну відбувається впорскування порошку це дозволяє створювати рівномірні за хімічним складом і товщині покриття та композитні матеріали, у яких зберігається зміцнююча фаза.

- Газопорошковий струмінь подається збоку щодо напрямку лазерного променя або назустріч. При цьому валики покриття які формуються будуть відрізнятися геометрією поверхні. Недолік способу – подача порошку, відносно променя лазера, навіть при створенні плакуючого шару – несиметрична, таким чином виходить нерівномірно проплавлений шар наплаву.

-Коаксиальне наплавлення - газопорошкова суміш подається через сопло симетрично з усіх боків в область впливу лазерного променя (потік конусоподібно сходиться в одну точку-фокус). Сформувати таку рівномірну симетричну подачу - головна задача цієї технології. Коаксиальне наплавлення вважається універсальним методом отримання не тільки однорідних, але і композитних покриттів як на плоских, так і на тривимірних поверхнях. Такий процес забезпечується за допомогою симетричної подачі щодо напрямку наплавлення. До плюсів можна віднести рівномірне формування валиків, високу продуктивність, ефективність і коефіцієнт використання витрат присадочного матеріалу. Головний недолік - складність здійснення коаксіальної подачі.

2.7 Реалізація технологій лазерного наплавлення

Для реалізації технологій лазерного наплавлення використовуються потужні твердотільні, газові та діодні лазери. Лазерне наплавлення часто

застосовується для обробки невеликих деталей або локальних ділянок великогабаритних виробів в гірничовидобувній, аерокосмічній, енергомашинобудівній та інших галузях промисловості. Використання волоконних, дискових і діодних лазерів потужністю понад 10 кВт дозволяє дуже сильно підвищити продуктивність процесу лазерного наплавлення, що є основною умовою для використання лазерної технології при обробці великогабаритних виробів. Використання існуючих технологій лазерного наплавлення для отримання покриттів великої площі обмежено їх низькою ефективністю. Кінцеві властивості покриттів і промислова придатність лазерних технологій визначається не тільки рівнем потужності лазерного випромінювання, але і характеристиками додаткового обладнання: сопел, пристроїв подачі матеріалу, систем фокусування і формування лазерного променя.

Основною причиною переходу від традиційних технологій отримання покриттів до лазерної є більш висока якість одержуваних покриттів, обумовлене низьким коефіцієнтом перемішування наплавленого матеріалу з матеріалом основи при більш високих адгезійних характеристиках. Але для нанесення покриттів великої площі в основному використовуються традиційні методи наплавлення й напилювання, що забезпечують високу продуктивність процесу і відповідно, більш високу економічну ефективність. Отримання функціональних покриттів великої площі актуально для широкого спектра галузей в важкій промисловості (суднобудування, енергетика, нафтогазова промисловість і гірничодобувна галузь, металооброблювальна, паперова та інші). На сьогоднішній день існують приклади промислового використання CO₂-лазера потужністю до 20 кВт при ремонті трубних панелей бойлерів електрогенераторів і масивних поршневіх штоків для гірничовидобувної індустрії. CO₂-лазери довгий час були єдиними лазерами, здатними забезпечити такий високий рівень потужності. Однак для CO₂ лазерів характерні низькі ККД і ефективність обробки, високі експлуатаційні витрати, що значно знижує гнучкість технологічного процесу.

Останнім часом на ринку з'явилися промислові зразки потужних твердотільних (дискових) і волоконних лазерів потужністю відповідно до 16 і 30 кВт. Ці лазери мають такі переваги над СО₂-лазерами:

1. Високим ККД;
2. Високим коефіцієнтом поглинання лазерного випромінювання металами;
3. Можливістю транспортування випромінювання через оптичне волокно;
4. Низькими експлуатаційними витратами.

Очевидно, що використання ще більш нових типів лазерів дозволить підвищити продуктивність процесу наплавлення і зробити лазерні технології більш ефективними.

2.8 Технологічні фактори, що впливають на процес лазерного наплавлення

- Якість лазерного випромінювання;
- Потужність лазера;
- Методи нанесення лазерного випромінювання;
- Тип та якість газу;
- Транспортування тиску;
- Характеристики захисного газу;
- Композиція та розмір порошку;
- Якість порошку;
- Способи нанесення порошку.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОТОКУ ГАЗО-ПОРОШКОВОЇ СУМІШІ НА ВИХОДІ З СОПЕЛ З РУХОМИМИ КАНАЛАМИ ДЛЯ ПОДАЧІ ПОРОШКУ

Ansys Workbench – це універсальна платформа для моделювання, що об'єднує всі інструменти інженерного моделювання компанії ANSYS.

Адаптивна архітектура дозволяє користувачу виконувати будь-які дії, від стандартного аналізу течії рідини чи газу, до обробки складних взаємодіючих систем.

Ця проста у використанні платформа забезпечує доступ до двобічної параметричної CAD інтеграції, потужні інструменти для побудови сітки, автоматизованого механізму оновлення на стадії проектування, управління багатодисциплінарного моделюванням і вбудованого інструмента оптимізації.

В результаті цих взаємозв'язків ANSYS CFD забезпечує наступні переваги та можливості:

- швидко підготувати геометрію для аналізу потоку без стомлюючої доопрацювання;
- уникати дублювання вихідних даних, які є загальними для всього потоку рідини;
- легко розрахувати кілька варіантів геометрії, сітки, фізики процесу і автоматично отримати нові результати моделювання для цієї серії розрахунків;
- покращувати якості розроблюваного виробу (процесу) за рахунок чіткого розуміння процесів, що відбуваються з подальшим коректним проектуванням;

Це середовище забезпечує унікальну інтеграцію з CAD системами в процесі проектування.

В середовище ANSYS Workbench входить кілька різних додатків (деякі з них):

- Mechanical - використовується для виконання структурного і теплового аналізу з використанням вирішення ANSYS. Накладення сітки на область розрахунку також включено в Mechanical.
- Fluid Flow (CFX) - додаток для виконання аналізу з використанням CFD CFX.
- Fluid Flow (FLUENT) - додаток для виконання аналізу з використанням CFD FLUENT.
- DesignModeler (геометрія) - призначений для створення і редагування CAD геометрії і підготовки твердотілої моделі для використання в подальших розрахунках.
- Engineering Data - призначений для визначення властивостей матеріалу.
- Meshing Application - призначений для генерації області розрахунку CFD і генерування сітки.
- Design Exploration - призначений для проведення проектних досліджень і оптимізації аналізу.
- Finite Element Modeler (FE Modeler) додаток призначений для адаптації сітки, отриманої в NASTRAN і ABAQUS, для використання в ANSYS.

Основні елементи блоків інженерного аналізу

Основні елементи інженерного аналізу Ansys, дозволяє проводити інженерні аналізи різних видів, і всі вони представленні в вікні інструментів Toolbox, такі як:

- Static Structural-статичний міцний аналіз;
- Transient Structural-нестационарний міцний аналіз;
- Steady-State Thermal-стаціонарний тепловий аналіз;
- Transient Thermal-нестационарний тепловий аналіз;
- Harmonic Response - гармонійний аналіз;
- Linear Buckling- аналіз стійкості;
- Explicit Dynamics - твердотілий динамічний аналіз найменування;

Основні елементи інженерного аналізу Ansys, є створення:

- геометрії.
- генерації сітки(визначення геометрії області дослідження;
- творення областей потоків рідин або газів, твердих областей і завдання імен граничним областям; установка параметрів сітки).

Етапи інженерного аналізу що реалізуються в елементах Geometry

Для геометрії проектного аналізу потоку рідини чи газу, можна створювати геометрію в ANSYS DesignModeler, або імпортувати відповідний файл геометрії. На цьому кроці створюється геометрія в ANSYS DesignModeler, а потім можна переглянути список файлів, створених за допомогою програми ANSYS Workbench.

Якщо є можливість за краще не створювати геометрію в ANSYS DesignModeler, можна імпортувати попередньо існуючу геометрію клацнувши правою кнопкою миші Geometry осередок і вибравши Імпорт геометрії опцію з контекстного меню. Звідти можна переглядати файлову систему щоб знайти lbow_geometry.agdb файл геометрія яка передбачена для даної моделі.

Основні етапи інженерного аналізу в елементі Geometry є:

- 1) Запуск Design Modeler. Дозволяє створювати геометрію з нуля або імпортувати його з пакета САПР.
- 2) Правильна орієнтація. Модель може бути створена у трьох площинах - XY,XZ,YZ .
- 3) Створення контуру геометрії досліджуваної моделі.
- 4) Визначення розмірів. В даному етапі створення моделі, встановлюються розміри геометрії.
- 5) Створення поверхні геометрії. В ANSYS, застосовують геометричні граничні умови до "тіла"де перетворюють ескіз моделі – в ескіз в "тіло".
- 6) Закрити ANSYS DesignModeler, вибравши Файл → Закрити DesignModeler або натиснувши на значок 'X' в верхньому правому

куті. ANSYS Workbench автоматично зберігає геометрію і оновлює Project Schematic відповідно. Знак питання в геометрії осередку замінюється прапорцем, вказуючи, що є геометрія, тепер пов'язаний з системою аналізу потоку текучого середовища.

Опис програми ANSYS CFX. Функції підпрограм ANSYS CFX.

ANSYS CFX - Потужний інструмент для оптимізації процесу розробки і технологічної підготовки в області обчислювальної динаміки рідин і газів. ANSYS CFX поєднує в собі передову технологію вирішення з сучасним інтерфейсом і адаптивною архітектурою, що робить цей інструмент доступним як для розробників, які володіють загальними інженерними знаннями, так і для фахівців у галузі гідродинаміки, що працюють з моделлю і її властивостями на професійному рівні.

CFX дозволяє детально вивчити обладнання та процеси зсередини, підвищити ефективність, збільшити термін служби і оптимізувати процеси.

Пакет ANSYS CFX Складається з п'яти додатків, між якими відбувається обмін потоком інформації, що виникає в процесі постановки і рішення задач гідродинаміки.

Етапи процесу постановки і вирішення задачі відповідає кожен додаток пакета.

CFX сітки, або інший додаток генерації сітки - це перший крок постановки завдання. На даному етапі відбувається наступне:

- визначення геометрії області дослідження;
- створення областей потоків рідин або газів, твердих областей і завдання імен граничним областям;
- установка параметрів сітки.

Система ANSYS CFX дозволяє імпортувати геометричні дані з більшості сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) і автоматично згенерувати сітку на їх основі. Таким чином, перший етап постановки завдання може бути виконаний в зовнішньому додатку (CAD-системі).

Другий крок постановки задачі, це визначення фізичної моделі, на основі яких буде відбуватися симуляція процесу. CFX-Pre дозволяє визначити граничні умови процесу (вхідні, вихідні параметри), моделі теплообміну.

В ANSYS CFX попередньо проводиться пошук вирішення всіх необхідних змінних: рівняння в приватних похідних інтегруються по всьому об'єму завдання в галузі дослідження, відповідає застосуванню закону збереження

(мас або моменту) до кожної досліджуваної області;

Отримані інтегральні рівняння перетворюються в систему алгебраїчних рівнянь шляхом апроксимування членів в інтегральних рівняннях;

алгебраїчні рівняння вирішуються чисельним методом.

ANSYS CFX-Solver Manager - це надбудова над CFX-Solver. Вона дозволяє контролювати хід вирішення задач, такі як:

- визначати вхідні файли вирішувача;
- запускати або припиняти CFX - Рішення;
- контролювати процес вирішення завдання;
- встановлювати CFX - Рішення для проведення паралельних обчислень.

ANSYS CFX-Post - це програма, призначена для аналізу, візуалізації та представлення результатів, отриманих в ході рішення задачі за допомогою ANSYS CFX-Solver. Для цього використовуються такі засоби:

- візуалізація геометрії та досліджуваних областей;
- векторні графіки для візуалізації напрямку та величини потоків;
- візуалізація зміни скалярних величин (такі як температура, тиск) всередині досліджуваної області.

Графіки, зображення та відео, отримані в результаті аналізу рішення задачі можна зберегти у вигляді окремих файлів.

3.1 Дослідження характеристик газодинамічних розрахунків в ANSYS

Для моделювання процесу витікання газопорошкової суміші із щілинних сопел з рухомими каналами приймаються такі допущення:

- Газ вважається ідеальним;
- Газовий потік є ізоентропним (тобто має постійну ентропію, сили тертя і дисипативні втрати не враховуються) і адіабатичним (тобто теплота не підводить і не відводиться);
- Газо-порошковий потік є стаціонарним і одновимірним, тобто в будь-якій фіксованій точці сопла всі параметри потоку стали в часі і змінюються тільки вздовж осі сопла, причому у всіх точках обраного поперечного перерізу параметри потоку однакові, а вектор швидкості газу всюди паралельний осі симетрії сопла;
- Масове витрачання газу однакове у всіх поперечних перетинах потоку;
- Вплив всіх зовнішніх сил і полів (в тому числі гравітаційного) дуже малий.

Для кожного розрахункового випадку необхідно:

- Розрахувати коефіцієнти витрати і тяги сопла;
- Показати картину перебігу витікання газопорошкової суміші із щілинного сопла на заготовку;
- Порівняти отримані дані при витіканні із щілинних сопел з каналами які розташовані паралельно, до каналів, які знаходяться під кутом.

3.2 Алгоритм газодинамічного розрахунку в ANSYS

Процес багатьох газодинамічних розрахунків складається з п'яти основних етапів:

1. Створення геометричної моделі (CAD-моделі). Для розрахунку потрібно створити комп'ютерну геометричну модель сопла. ANSYS Fluent дозволяє вирішувати такі задачі як в двовірній, так і трьохвірній постановці;
2. Створення сітки моделі зони, яка розраховується на базі геометричної. Це розбиття твердотільної моделі, створеної в попередньому пункті, на окремі малі комірки. Ця процедура проводиться напівавтоматично в спеціальних системах – сіткогенераторах;
3. Створення розрахункової моделі з сітчастої шляхом накладення розрахункових граничних умов. В першу чергу, задається набір рівнянь, які потрібно вирішити. Після визначення набору розв'язуваних рівнянь потрібно вказати вхідні дані для вирішення системи рівнянь;
4. Пошук рішення. На даному етапі проводиться пошук значень параметрів в кожній розрахунковій комірці, щоб вся розрахункова зона мала максимально вірне рівняння потоків;
5. Представлення результатів розрахунку. Для наочності результати аналізу представляють у вигляді графіків, кольорових або векторних полів розподілу параметрів, числових значень параметрів в заданих областях. [13]

Хід роботи:

1. Для початку роботи потрібно відкрити середовище ANSYS Workbench. Щоб додати CAE-аналіз в Fluent в новий проект, знаходимо в списку систем аналізу Fluid Flow [Toolbox→ Analysis Systems→ Fluid Flow] і двічі натискаємо по компоненту лівою кнопкою миші. Після цього він буде автоматично перенесений на поле проекту і з'явиться дерево проекту “Fluid Flow” в якому є п'ять пунктів: “Geometri”(геометрична модель), “Mesh”(сітка), “Setup”(постановка задачі), “Solution”(рішення) та “Results”(аналіз результатів).

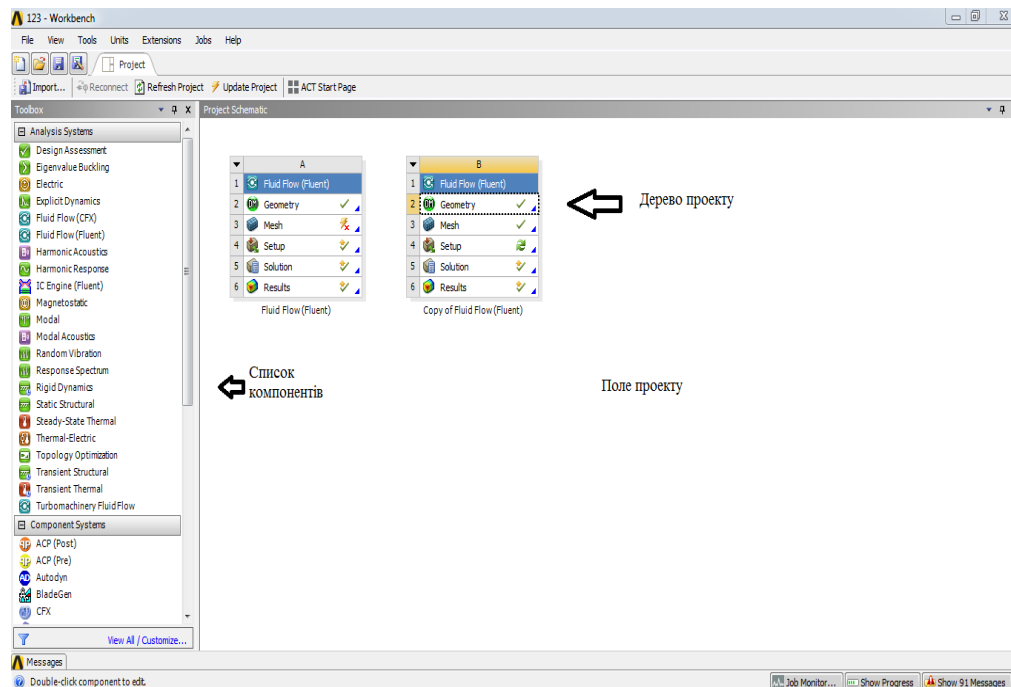


Рисунок 3.1. Вид вікна програми Ansys WorkBench

Для початку обираємо “Geometry”. Геометричну модель “Geometry” обробляє вбудована в WorkBench система трьохмірного моделювання “Design Modeler”. У відкритому вікні вибираємо потрібний варіант розмірностей. На панелі інструментів натискаємо “Look at Face/Plane/Sketch” для того щоб вирівняти деталь на зображенні відносно екрана. Далі, використовуючи допоміжну панелі “Draw” та “Modify” будуємо геометричну модель щілинного сопла та середовища у вигляді половини циліндра. У вигляді половини циліндра середовище було побудована для більшої наглядності результату. Далі натискаємо на “Extrude” → “Geometry” → “Apply” після чого обираємо функцію “Generate”. Ці операції робимо для будування двох видів розрахунків..

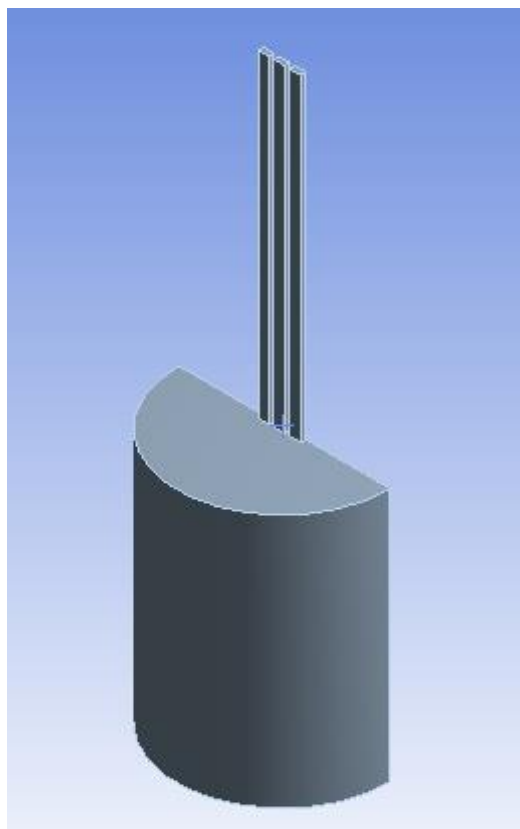
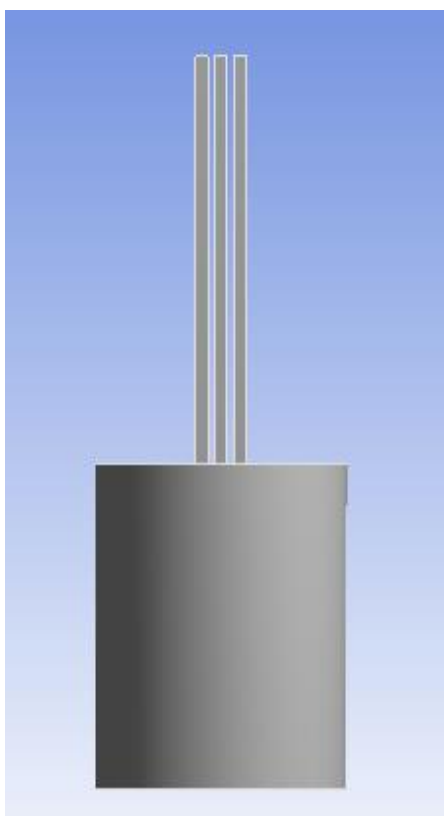


Рисунок 3.2 Модель щілинного сопла з трьома паралельними каналами

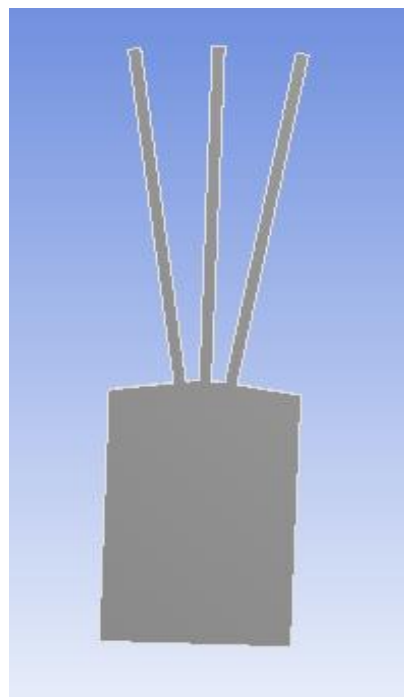
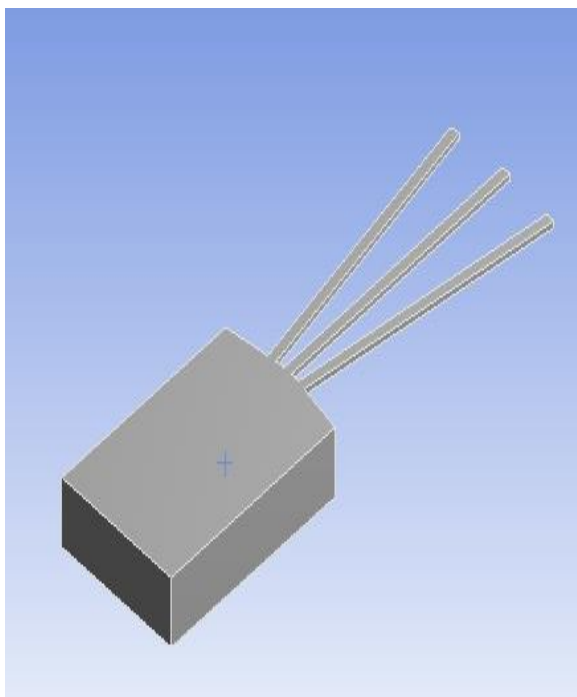


Рисунок 3.3 Модель щілинного сопла з трьома каналами які знаходяться під кутом

Далі для кожного сопла в середовищі будуємо плоску заготовку та циліндричну. Після чого отримуємо остаточні моделі з якими можна виконувати послідовні операції.

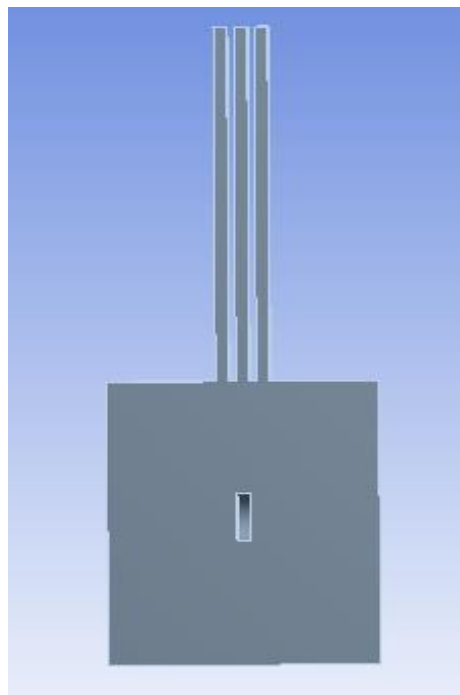
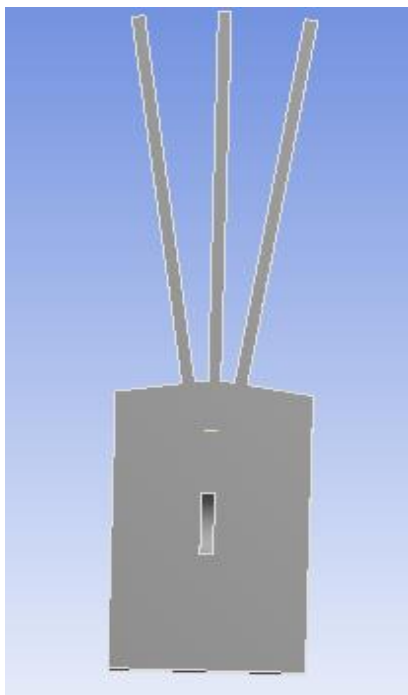


Рисунок 3.4 Геометрична модель щілинних сопел з трьома каналами які розташовані паралельно та під кутом відповідно до циліндричної заготовки

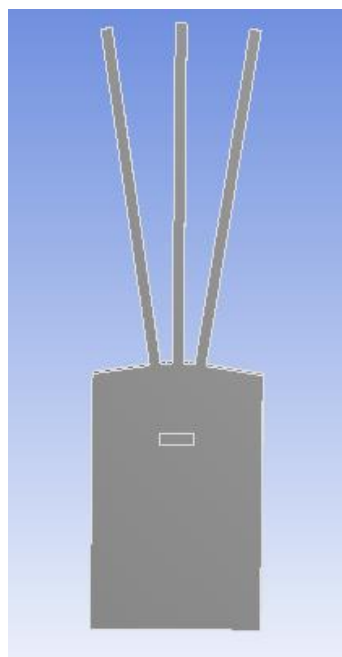
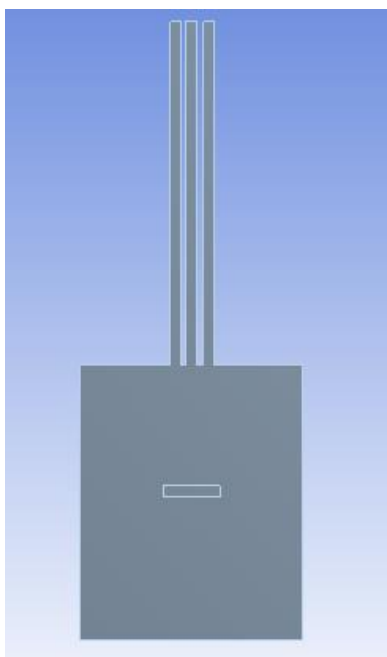


Рисунок 3.5 Геометрична модель щілинних сопел з трьома каналами які розташовані паралельно та під кутом відповідно до плоскої заготовки

2. Для проведення повноцінного розрахунку потрібно створити сітку розрахункової моделі на базі геометричної. Для цього переходимо в режим “Mesh”. Сітку “Mesh” обробляє вбудований в WorkBench - сіткогенератор “Mesher”. Цей режим для різних типів аналізу генерує розрахункові сітки. ANSYS Meshing має великий набір методів, які відповідають специфічним вимогам тієї чи іншої галузі фізики, а також потужний функціонал в управлінні глобальними параметрами і локальними згущеннями розрахункової сітки. Крім того, ANSYS Meshing містить набір інструментів для виправлення неякісної геометрії і побудови розрахункових сіток для спрощених двовірних і балочних моделей.

В режимі “Mesh” за допомогою функції “Create Named Selections” створюємо та відмічаємо границі “Inlet”(вхід в сопло), “Outlet”(вихід з середовища обробки), “Walls”(стілки активних елементів), “Symmetry”(площина симетрії), “Opening”. Після цього необхідно задати параметри сітки і побудувати її. Для цього вибираємо в дереві проекту пункт “Mesh” і в вікні деталізації включаємо опцію загущення сітки в пристіночному шарі “Inflation”. Для побудови сітки потрібно правою кнопкою миші викликати контекстне меню і вибрати пункт “Update” або “Generate Mesh”, та отримуємо результати.

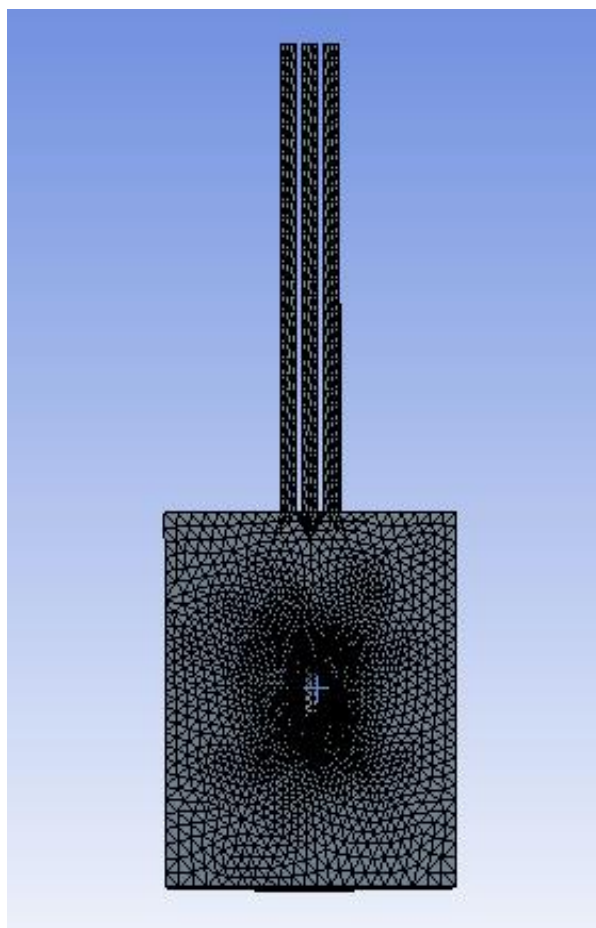


Рисунок 3.6 Сітка розрахункової моделі щілинних сопел з трьома каналами які розташовані паралельно та під кутом відповідно до циліндричної заготовки

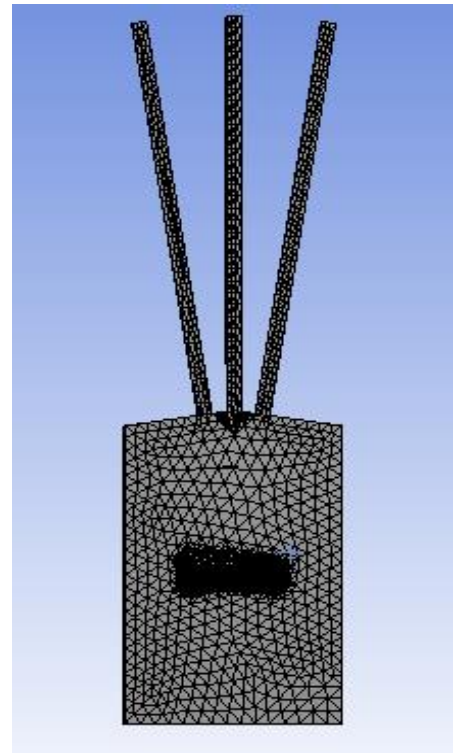
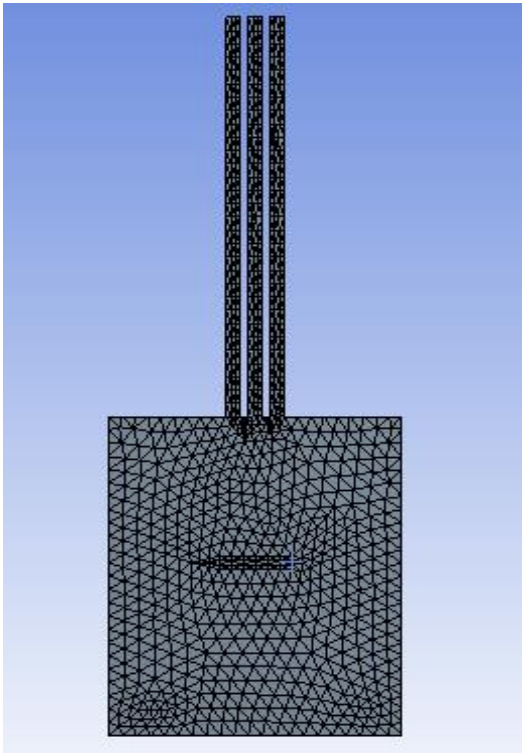


Рисунок 3.7 Сітка розрахункової моделі щільних сопел з трьома каналами які розташовані паралельно та під кутом відповідно до плоскої заготовки

3. Після цього потрібно відкрити функцію описування розрахункової задачі – “Setup”. Після відкриття “Setup” з’являється вікно загрузки “Fluent” з параметрами де треба все виставити за замовчуванням і натиснути “OK”.

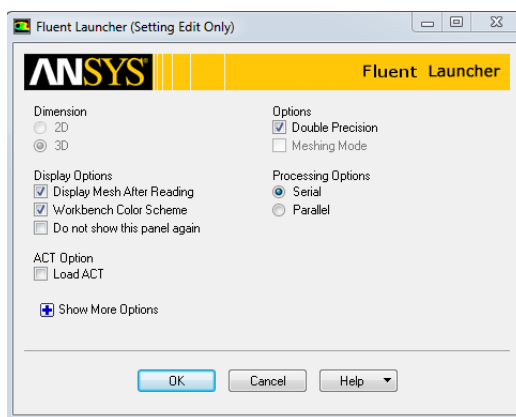


Рисунок 3.8. Вікно загрузки “Fluent” з параметрами

Вікно “Fluent” складається з графічного вікна, в якому можна спостерігати завантажену модель, вікна текстових повідомлень, в яке

виводяться результати виконання команд, дерева проекту і панелі інструментів. Залежно від того, який пункт вибраний в дереві проекту, відкривається відповідна панель. На панелі “General” зібрані інструменти для початкового налаштування завдання. Перед початком розрахунку необхідно перевірити сітку на наявність помилок, натиснувши на панелі “General” кнопку “Check”. При цьому буде виконана перевірка, яка полягає у визначенні габаритів сітки, мінімальних і максимальних об’ємів розрахункових ячеек і площ їх граней. Після чого задаємо граничні умови моделювання. Для цього потрібно перейти на вкладку “Boundary Conditions”, і натиснути по-черзі на “inlet”, “Outlet”, “Opening” і в вікнах, які з’являться задаємо всі необхідні параметри. Такі граничні умови задаємо і для всіх наступних моделей.

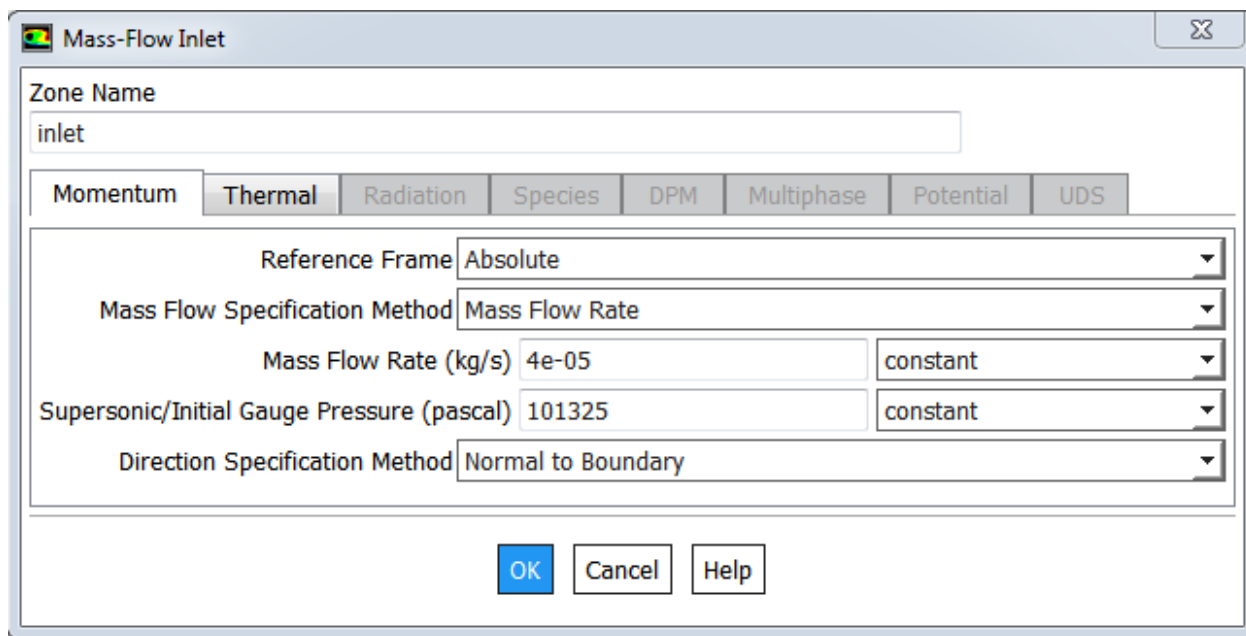


Рисунок 3.9. Налаштування граничної умови входу

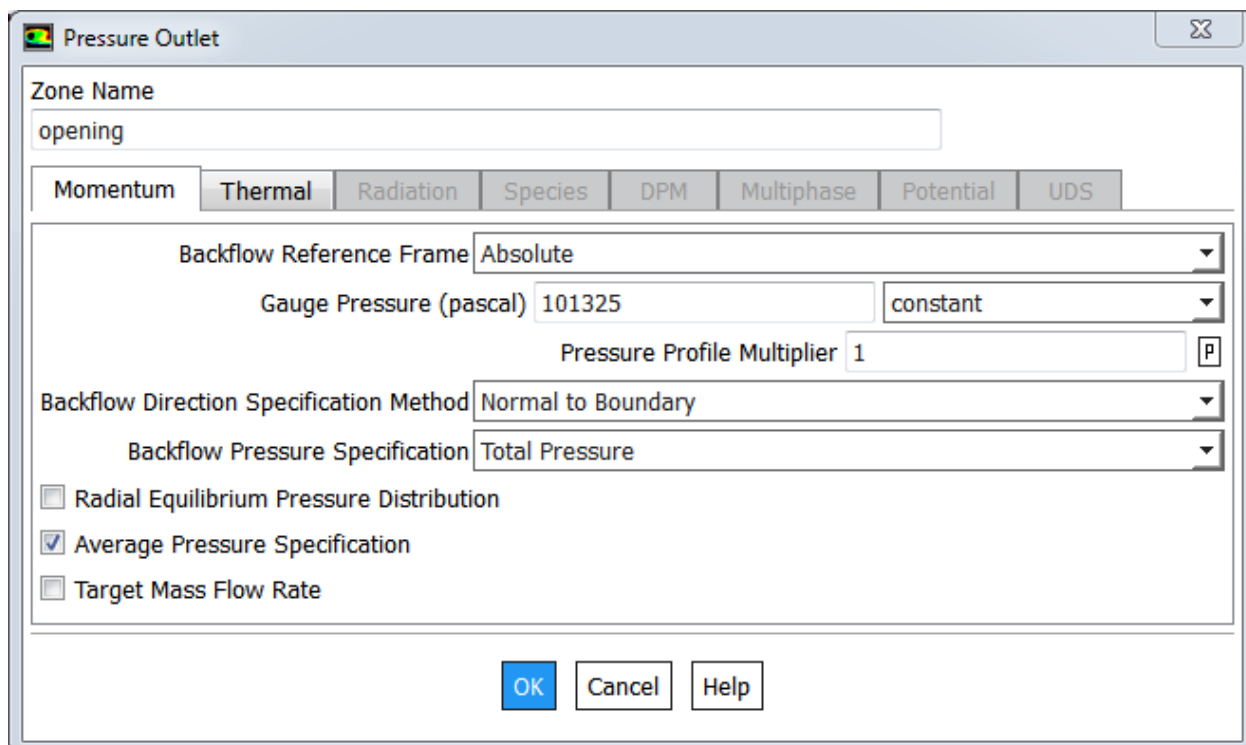


Рисунок 3.10. Налаштування граничної умови активного середовища

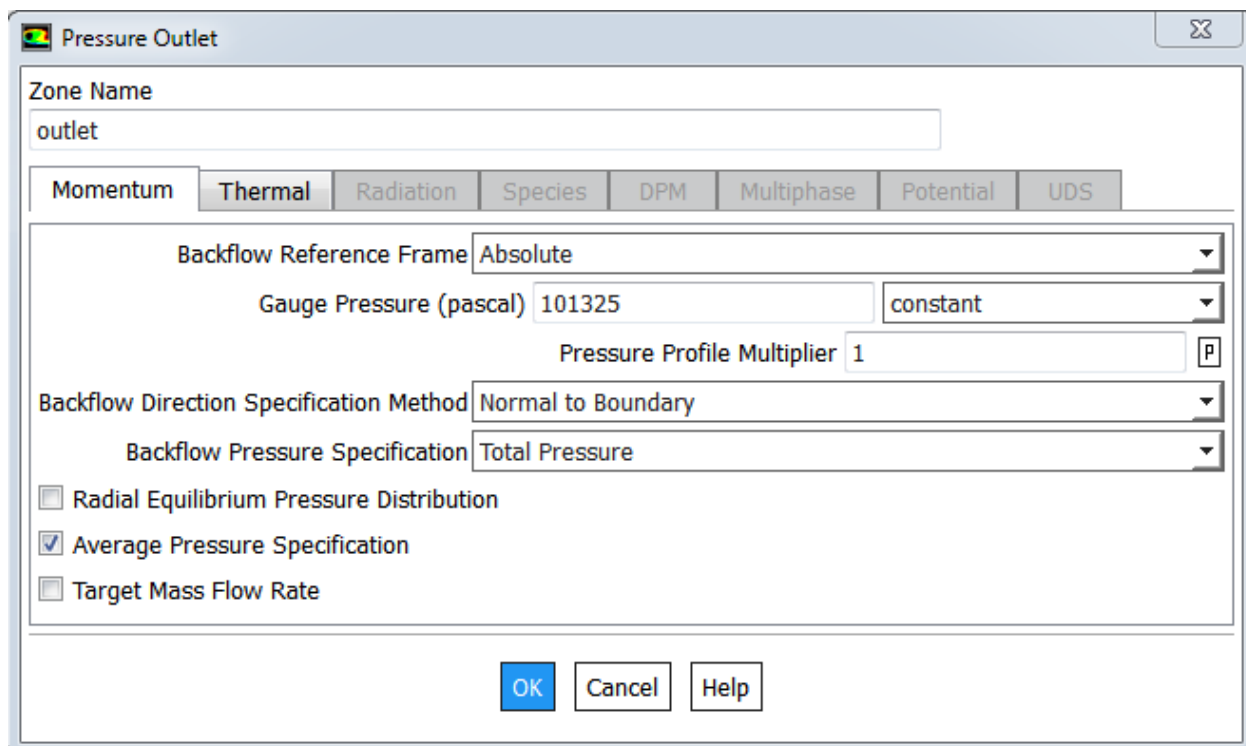


Рисунок 3.11. Налаштування граничної умови виходу

Після цього потрібно задати граничну умову “Symmetry”. Перехід до налаштування граничної умови здійснюється за допомогою натисканням кнопки “Operating Conditions”. В меню, необхідно ввести нульове значення в

“Operating Pressure”. Після всіх налаштувань потрібно натиснути “OK”. Такі налаштування потрібно зробити зі всіма моделями.

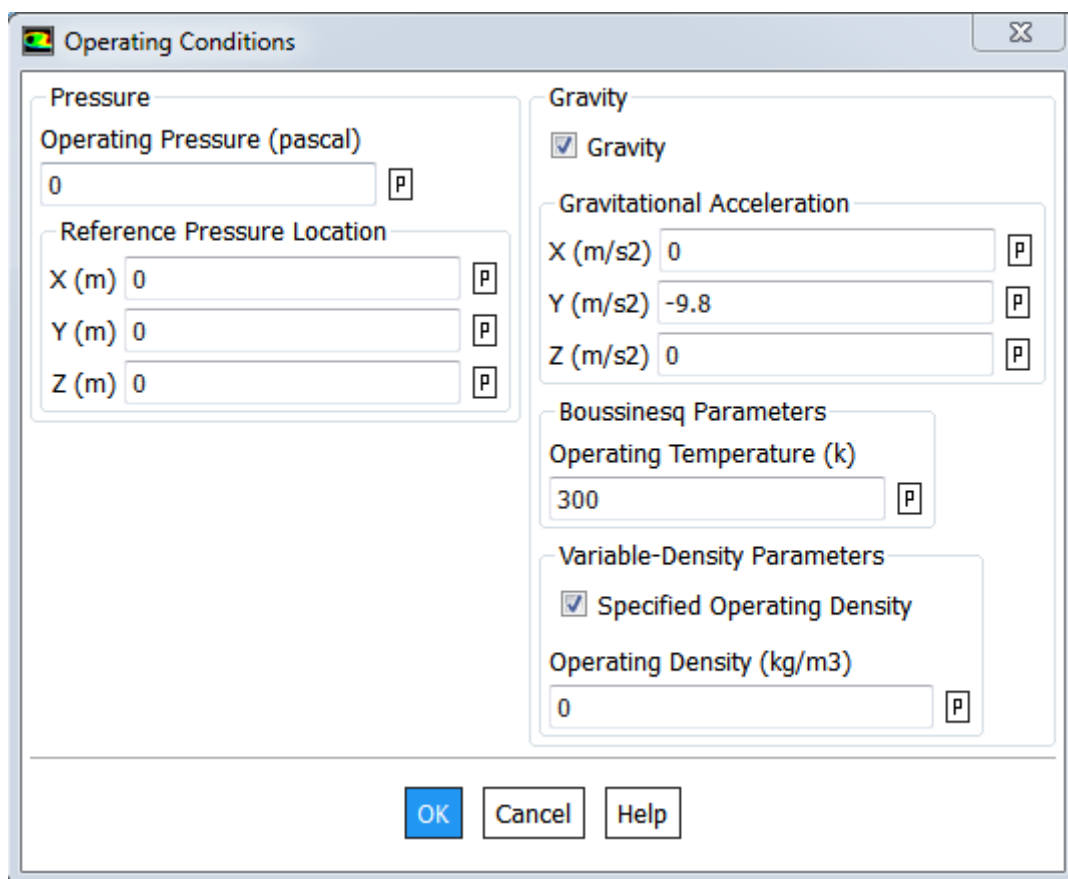


Рисунок 3.12. Налаштування граничної умови симетрії

4. Наступним кроком є функція “Solution”. У відкритому вікні потрібно перейти на вкладку “Run Calculation”, ввести в поле “Number of Iterations” - 500 та натиснути кнопку “Calculate”. Після чого розпочнеться процес пошуку рішення. При пошуку рішення в графічному вікні відображається графік так званих невязок “Residuals” за кількістю розв’язуваних рівнянь, а в текстовому вікні виводиться таблиця зміни невязок від ітерації до ітерації.

5. Останнім кроком є функція “Results”. Після відкриття у дереві проекту “Results” ми можемо спостерігати характер дії газопорошкової суміші по торцям циліндра. Для того щоб показати детальний характер дії газо-порошкової суміші на коло заготовку, треба скористатися інструментами на панелі у відкритому вікні “Results”. Натискаємо на інструмент “Location” і створюємо “Plane” - нову площину по вісям XY.

Координаті Z задаємо 0 міліметрів, для того щоб площина перетинала заготовку посередині. Далі, на панелі інструментів натискаємо на “Contur”, щоб створити новий контур і прив’язуємо його до нової площини. Також тут задаємо змінну швидкості “Velocity” і кількість контурів. Для більшої наочності необхідна велика кількість контурів. В нашому випадку - 200. Такі операції ми робимо зі всіма моделями сопел та заготовок. В результаті ми можемо спостерігати за характером дії газопорошкової суміші на заготовку в різних площинах.

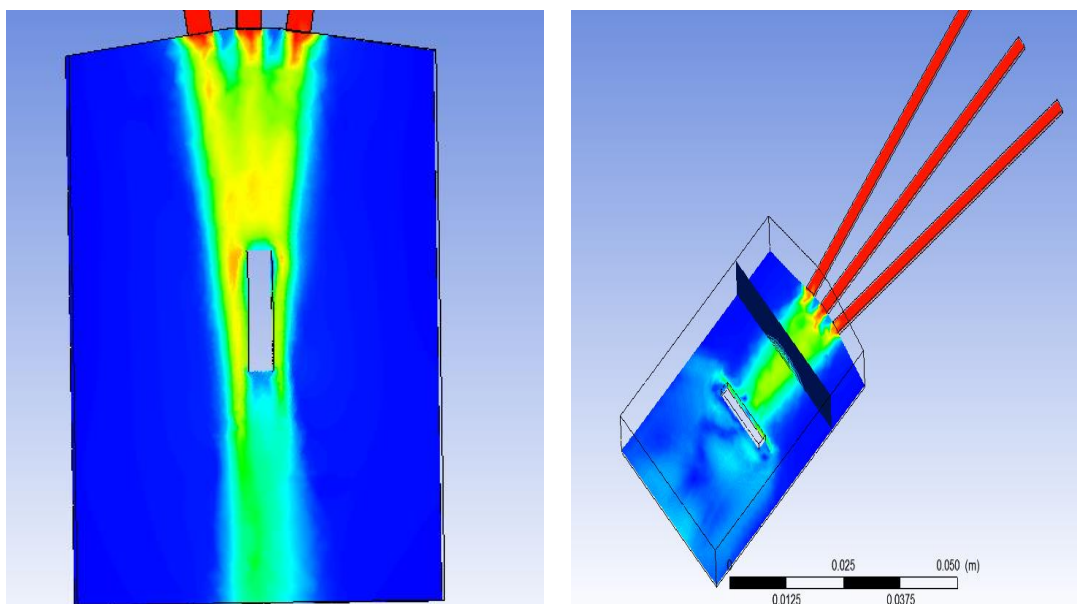


Рисунок 3.13 Характер дії газо-порошкової суміші на циліндричну заготовку при витіканні з щілинного сопла з рухомими каналами, які розташовані під кутом на циліндричну заготовку

3.3 Розрахункова частина газодинамічних розрахунків

Відношення локальної швидкості v до локальної швидкості звуку C є числом Маха, яке також є місцевим, а отже яке залежить від координати X :

$$M = \frac{v}{C} \quad (1),$$

З рівняння стану ідеального газу слідує:

$$\frac{dp}{d\rho} = C^2, \text{ де } \rho - \text{локальна густина газу, } p - \text{локальний тиск газу.}$$

З врахуванням цього, а також з врахуванням стаціонарності і одномірності потоку, рівняння Ейлера набуває вигляду:

$$v \frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\rho} * \frac{dp}{dx} = -\frac{1}{\rho} * \frac{dp}{d\rho} * \frac{d\rho}{dx} = -\frac{C^2}{\rho} * \frac{d\rho}{dx},$$

що, з огляду на (1), перетворюється

$$\frac{1}{\rho} * \frac{d\rho}{dx} = -M^2 * \frac{1}{v} * \frac{dv}{dx}, \quad (2)$$

Рівняння (2) є ключовим в даному випадку.

Розглянемо його в такому форматі:

$$\frac{\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx}}{\frac{1}{v} \frac{dv}{dx}} = -M^2 \quad (3)$$

Величини $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx}$ та $\frac{1}{v} \frac{dv}{dx}$ дають характеристику відносній ступені змінності по координаті X густини газу і його швидкості відповідно. До того ж рівняння (3) визначає, що співвідношення між цими величинами є рівним квадрату числа Маха. Отже, на дозвукових швидкостях ($M < 1$) густина змінюється в меншому ступені чим швидкість, а на надзвукових ($M > 1$) – густина змінюється в більшому ступені чим швидкість.

Оскільки масова витрата газу стала, то:

$$\rho * v * A = const,$$

де A - площа місцевого перетину сопла,

$$\ln \rho + \ln v + \ln A = \ln(const),$$

диференціюючи дві частини цього рівняння по X , отримуємо:

$$\frac{1}{\rho} * \frac{d\rho}{dx} + \frac{1}{v} * \frac{dv}{dx} + \frac{1}{A} * \frac{dA}{dx} = 0$$

Після підставлення з (2) в це рівняння, отримуємо остаточно:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{A}{v} * \frac{dv}{dx} * (M^2 - 1) \quad (4)$$

Треба зауважити, що при збільшенні швидкості газу в соплі знак вираження $\frac{A}{v} * \frac{dv}{dx}$ позитивний, отже знак похідної $\frac{dA}{dx}$ визначається знаком виразу: $(M^2 - 1)$.

Рухаючись по соплу, газ розширюється, його температура і тиск знижуються, а швидкість зростає. Внутрішня енергія газу переходить в кінетичну енергію його спрямованого руху. ККД цього перетворення в нашому випадку не перевищує 70%. Газ проходячи через сопло на значній швидкості, не встигає передати стінкам сопла велику кількість своєї теплової енергії, що дозволяє вважати процес адіабатичним.

З рівняння стану ідеального газу, а також з балансу енергії в газовому потоці можна вивести формулу розрахунку лінійної швидкості витоку газу з сопла:

$$v_e = \sqrt{\frac{T^*R}{M} * \frac{2*k}{k-1} [1 - \left(\frac{p_e}{p}\right)^{(k-1)/k}]};$$

Двопараметрична модель модель турбулентності $k - \epsilon$:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - p\epsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(p\epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} p \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (6)$$

Рівняння для турбулентної кінетичної енергії $k - 5$;

Рівняння для дисипації $\epsilon - 6$.

Де:

G_k - джерело за рахунок градієнта середньої швидкості;

G_b - джерело за рахунок архімедових сил;

S_k, S_ϵ - призначені для користувача джерела.

РОЗДІЛ 4

СТАРТАП-ПРОЕКТ

Стартап (ризикова форма малого підприємництва) за останні десятиліття набула великого розповсюдження у світі тому що таким чином знижується бар'єр входу в ринок (зі стрімким розвитком інтернету, його почали використовувати як засіб популяризації та торгівлі, стало набагато легше знаходити потенціальних клієнтів та інвесторів, проводити пошук ресурсів, та здійснювати торгівельні операції між різними країнами), і вважається одним з найновіших складових інновацій у економіці. Тому, за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів кількість інноваційних ідей стрімко зростає.

Проте, створення стартап-проектів має підвищений ризик, нажаль, ринково успішними стає лише невелика частина проектів, що за різними оцінками складає приблизно від 10% до 20%. Сам по собі стартап-проект, не коштує майже нічого: головною задачею на початковому етапі проекту є перенести саму ідею у працюючу бізнес-модель, це починається з формування

концепції послуги або товару для визначеної клієнтської групи за потрібних ринкових умовах.

Введення на ринок робочого стартап-проекту передбачає собою здійснення таких важливих моментів: фінансовий аналіз та аналіз ризиків, ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва.

Узагальнений вигляд етапів розроблення стартап-проекту можна подати у такому вигляді.

Етапи розроблення стартап-проекту:

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту:

- Описується ідея проекту та визначаються напрями використання товару чи послуги, а також їх відмінні переваги від конкурентів;
- розробляється стратегія ринкового впровадження послуги або товару в межах проекту.
- аналіз ринкових можливостей щодо його реалізації;

2. Організація стартап-проекту:

- аналіз потреб у основних засобах та активах;
- розробляється календарний план реалізації проекту;
- визначається обсяг виробництва потенційного товару, після цього формулюється потреба у матеріальних ресурсах та кількості персоналу;
- обчислюються загальні початкові витрати для запуску проекту та планові необхідні витрати для реалізації стартапу.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту:

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас

фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);

- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту).

4. Заходи з комерціалізації проекту(цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції):

- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

В даному розділі буде виконано головний етап розроблення старпап-проекту, а саме маркетинговий аналіз, з метою виявлення ринкових можливостей використання результатів роботи.

5.1 Опис ідеї послуги

Ідея послуги базується на тому, щоб створити центри з відновлення складних об'ємних деталей загального машинобудування за допомогою лазерного газопорошкового наплавлення. Послугу можна розширити, за рахунок створення мобільних центрів з лазерного відновлення деталей по місцю їх безпосереднього розташування.

Послуга може бути запропонована всім підприємствам, які мають потребу у відновлення деталей, устаткування яке працює в умовах підвищеного навантаження.

Окрім того, можливо запропонувати підприємствам послугу виготовлення елементів пристроїв та запчастин зміцнених за допомогою газо-порошкової наплавки.

Головною відмінністю даних послуг від існуючих аналогів та замінників є:

- пропонується використання автоматизованого комплексу, який забезпечує роботу з деталями які мають складну геометричну будову.
- можливість обробляти не тільки деталі з прямою конфігурацією, а поверхні різноманітної форми.

Таблиця 1. Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Центри з лазерного відновлення деталей загального машинобудування	1.Відновлення лопаток турбін	Швидкість та точність виготовлення
	2.Відновлення елементів гідравлічної арматури	Швидкість виготовлення. Відсутність пор та тріщин
	Зміцнення поверхонь	
Мобільний центр з лазерного відновлення деталей по місцю їх безпосереднього	1.Відновлення компонентів сільськогосподарської техніки	Швидкість виготовлення. Відсутність пор та тріщин

розташування	2.Відновлення важких анілоксових валів	Швидкість та точність виготовлення
Укріплення елементів об'ємних пристроїв та запчастин з складною поверхнею	1.Виготовлення компонентів сільськогосподарської техніки які вийшли з ладу та не можуть бути відновлені	Швидкість та точність виготовлення. Відсутність пор та тріщин
	2. Виготовлення прецизійних одиничних виробів	Швидкість та точність виготовлення. Відсутність пор та тріщин

5.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідей

На теперішній час, лазерне відновлення деталей не має конкурентів, які могли б забезпечити такі самі показники якості та швидкості виготовлення замовлення. Одним з аналогів є плазмове нанесення покриттів, але ця технологія передбачає велику кількість фінішних операцій, які потребують великих часових витрат.

Єдиним чинником, який може стати на заваді успішного розвитку впровадження технологій лазерного відновлення в промисловості може стати кінцевий користувач – покупець.

За схемою п'яти сил М. Портера [20], серед основних впливових факторів, які можуть стати на заваді з боку покупця – це рівень чутливості до зміни цін та змінні витрати на виготовлення готової продукції, оскільки все це пов'язане з витратами порошкової суміші, вартістю електроенергії та

витратами на транспортування лазерного технологічного комплексу на місце розташування зламаної деталі.

Таблиця 2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтра- льна сторона)	S (сильна сторон- а)
		Мій проект	Плазма	Вигото- влення аналогі- в	Купівля запасни- х частин			
1.	Економія на масштабах	Так			Так			S
2.	Патенти на продукти	Так		Так	Так			S
3.	Розмір капітало- вкладень	Так	Так	Так	Так			S
4.	Значення розміру поставок	Так	Так	Так	Так			W

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
	Центри з лазерного відновлення деталей загального машинобудування	Відновлення деталей за допомогою лазерного газо-порошкового наплавлення	Наявна	Так
	Мобільний центр з лазерного відновлення деталей по місцю їх безпосереднього розташування	Відновлення деталей за допомогою лазерного газо-порошкового наплавлення	Наявна	Так
	Відновлення деталей складної форми та робота над 3D деталями	Відновлення деталей за допомогою лазерного газо-порошкового наплавлення	Наявна	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Відновлення складних деталей за				

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: так чи ні, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити.

5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4).

Таблиця 4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ п/ п</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000000 у.о.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Нема обмежень. Ринок вільний
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект. В нашому випадку, банківський відсоток на вкладення складає 20 відсотків, отже можна зробити висновок про те, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Тепер доцільно визначити потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформулювати орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5).

Таблиця 5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
	Відновлення деталей за допомогою лазерного газо- порошкового наплавлення	Підприємства важкого машинобудування	Технічні умови щодо стану відновленої деталі	Якість виготовлення, відсутність пор та тріщин

5.5 Фактори, що сприяють ринковому впровадженню

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому

впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 6-7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Якість	Недотримання стандартів щодо виготовлення або відновлення деталі	Перемовини з клієнтом
	Вартість	Перевищення витрат щодо виготовлення або відновлення деталі	Перемовини з клієнтом

Таблиця 7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Якість	Підвищення якості	Зміна технологічних параметрів процесу.
	Вартість	Зменшення вартості виготовлення	Використання більш дешевих порошків

Тепер проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 8).

Таблиця 8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	чиста	Створення аналогічних центрів (підвищення якості та покращення логістичних послуг)
2. За рівнем конкурентної боротьби	міжнародний	Створення аналогічних центрів (підвищення якості та покращення логістичних послуг)
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	- міжгалузева	Поки немає відповіді
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	між бажаннями	Наша перевага в тому, що ми готові задовольнити будь-яке бажання клієнта
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	нецінова	Репутація буде айкращою рекламою
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	не марочна	Джоб-шопи не є конкурентами, оскільки вони не можуть надати повний перелік послуг

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, (табл. 9).

Таблиця 9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	<i>Компанія Булат, Інститут електрозварювання ім. Патона</i>	<i>Визначити бар'єри входження в ринок</i>	<i>Визначити фактори сили постачальників</i>	<i>Визначити фактори сили споживачів</i>	<i>Фактори загроз з боку замінників</i>
Висновки:	Партнерські засади	є можливості входу в ринок. Немає потенційних конкурентів, що могли б ввійти на ринок	Вартість порошків для наплавки. Все залежить від ціни на метал на лондонській біржі	Клієнти не диктують умови роботи на ринку	Немає

За результатами аналізу таблиці зробимо висновок про те, що існує принципова можливість роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також можемо зробити висновок щодо характеристик (сильних сторін), які має наш проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (табл. 9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 2), вимог споживачів до товару (табл. 5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 6-7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз таких чинників представлено в табл. 10

Таблиця 10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Швидка адаптованість технології під запити покупця	Лазерне випромінювання є безконтактним інструментом, тому можливості виростити деталь будь-якої складності
2	Відсутність обмежень щодо конфігурації відновлюваної деталі	Лазерне випромінювання є безконтактним інструментом, тому можливості виростити деталь будь-якої конфігурації
3	Відсутність обмежень щодо матеріального складу відновлюваної деталі	Широка різноманітність порошків для лазерної наплавки, а також, використання багатоканальних сопел для подачі газо-порошкової суміші

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 11).

Таблиця 11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

<i>№ п/ п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)</i>
-----------------------	--	----------------------	--

			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидка адаптованість технології під запити покупця	20	+						
2	Відсутність обмежень щодо конфігурації відновлюваної деталі	20	+						
3	Відсутність обмежень щодо матеріального складу відновлюваної деталі	20	+						

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Всі фактори наведені в Таблиці 11	Слабкі сторони: Вартість технологічного процеу
Можливості: Перехід від одиничного до масового виробництва. Продаж	Загрози: Вплив людського фактору на результат лазерного наплавлення

ліцензій	в мобільних центрах з лазерного відновлення деталей
----------	---

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 13).

Таблиця 13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Створення розгалуженої мережі демонстраційних центрів із залученням іноземних партнерів	За програмою «One road one belt» Китайської народної республіки – велика імовірність отримання грантів	1-2 роки з моменту перших інвестицій
	Створення спільного підприємства	Невелика	4-5

Перша альтернатива містить в собі великі переваги і має всі шанси бути реалізованою., оскільки для неї отримання ресурсів є більш простим та ймовірним, а строки реалізації – більш стислими.

5.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 14).

Таблиця 14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ п/ п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Виробники та користувачі лопаток для турбін	Готові	Відновлення 20-30 лопаток на місяць	низька	проста
2	Виробники та користувачі великогабаритних різальних інструментів	Готові	Відновлення 20-30 протяжок на місяць	висока	проста
3	Користувачі поліграфічного обладнання (з анілоксовими валами)	Скоріше не готові, ніж готові	Не відомо	низька	проста
Які цільові групи обрано: Виробники та користувачі лопаток для турбін та Користувачі поліграфічного					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) вибираємо стратегію диференційованого маркетингу;

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку (табл. 15).

Таблиця 15. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ п/ п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Створення розгалуженої мережі демонстраційних центрів із залученням іноземних партнерів	диференційований маркетинг	Швидка адаптованість технології під запити покупця Відсутність обмежень щодо конфігурації відновлюваної деталі Відсутність обмежень щодо матеріального складу відновлюваної деталі	Стратегія диференціації

* – опис базових стратегій розвитку див. у дод. Б.

Таблиця 16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
	Ні	Забирати існуючих у конкурентів	Ні	Стратегія виклику лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 16) розробляємо стратегію позиціонування (табл. 17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/ п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія я розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
-----------------------	--	--	---	---

	Точність, якість та час відновлення	Стратегія диференціації	Багатоканальні сопла для лазерного відновлення деталей	Знаю як, зможу будь де, мінімальна фінішна обробка
--	-------------------------------------	-------------------------	--	--

Таблиця 18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
	Відновлення деталей	Оперативність, точність, якість	Робота 24\7

Через обмеженість інформації щодо наявних потреб українських споживачів було вирішено не створювати маркетингової кампанії для даної послуги. Наразі вивчається можливість просування цієї послуги компаніям за кордоном та створення в Україні хабу з відновлення деталей.

Висновки:

- Наразі є можливість ринкової комерціалізації проекту (наявний скритий попит, динаміка ринку, рентабельність роботи на ринку);
- Також є перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту;
- Для ринкової реалізації проекту бажано обрати альтернативу «Створення розгалуженої мережі демонстраційних центрів із залученням іноземних партнерів»

- Подальша імплементація проекту є доцільною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <http://tutmet.ru/wp-content/uploads/2015/10/provoloka-svarochnaja-poroshkovaja-naplavki-tehnologija-primenenie-5.jpg>
2. <https://novosibirsk.shtorm-its.ru/info/articles/tekhnologiya-dugovoy-naplavki-metallov/>
3. <http://delta-grup.ru/bibliot/30/133.htm>
4. <http://tutmet.ru/wp-content/uploads/2015/10/provoloka-svarochnaja-poroshkovaja-naplavki-tehnologija-primenenie-3.jpg>
5. <http://tutmet.ru/provoloka-svarochnaja-poroshkovaja-naplavki-tehnologija-primenenie.html>
6. Процессы упрочнения и нанесения покрытий с использованием лазерного излучения Хаскин В.Ю. Автоматическая сварка 2008, с. 24-32
7. <http://www.plackart.com/coatings/lazernaya-naplavka.html>
8. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки . – Москва: МГТУ им. Е.Э. Баумана, 2006. – 662.
9. http://www.sciencebsea.bgita.ru/2014/mashin_2014_19/asutin_eksper.files/443x222ximage002.jpg.pagespeed.ic.rzA38XNlLb.webp
10. http://www.sciencebsea.bgita.ru/2014/mashin_2014_19/asutin_eksper.files/414x219ximage003.jpg.pagespeed.ic.b65xqDWC7T.webp
11. http://www.science-bsea.bgita.ru/2014/mashin_2014_19/asutin_eksper.htm
12. <http://tutmet.ru/lazernaja-naplavka-svarka-poverhnosti-metalla-tehnologija.html>
13. Kinnas, S. A. (2011). ANSYS FLUENT :, (Fall), 1–23.
14. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів

інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

15. <https://infopedia.su/14x1475b.html>